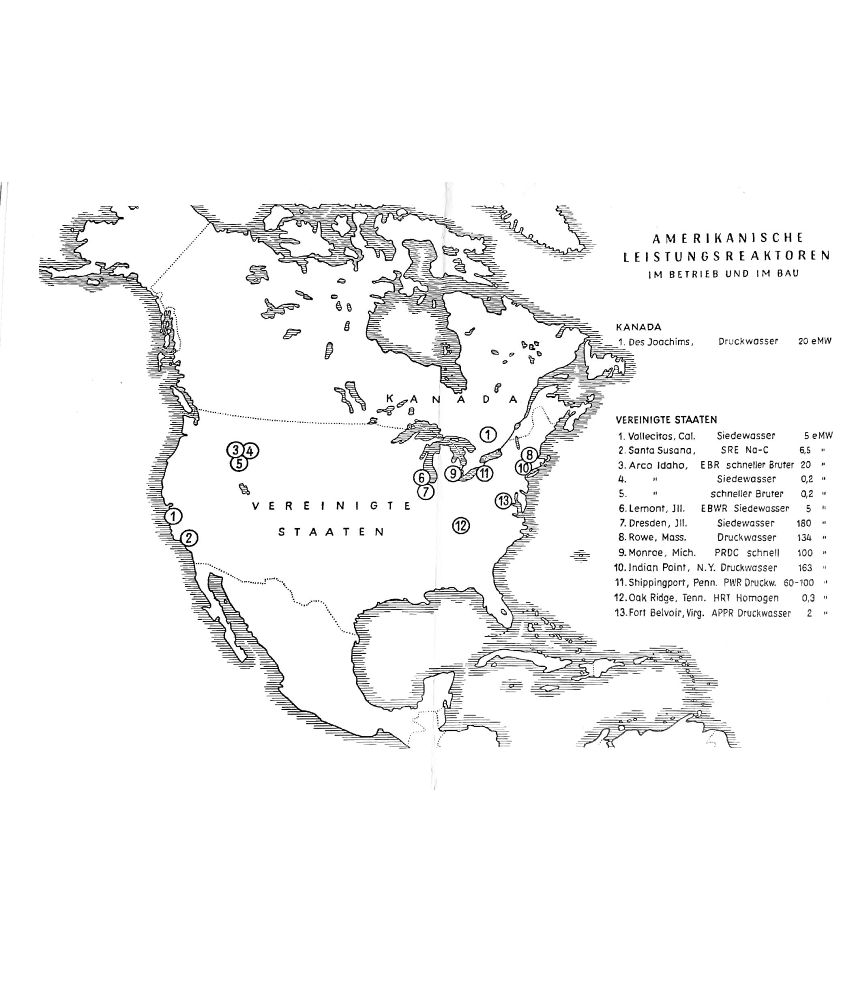
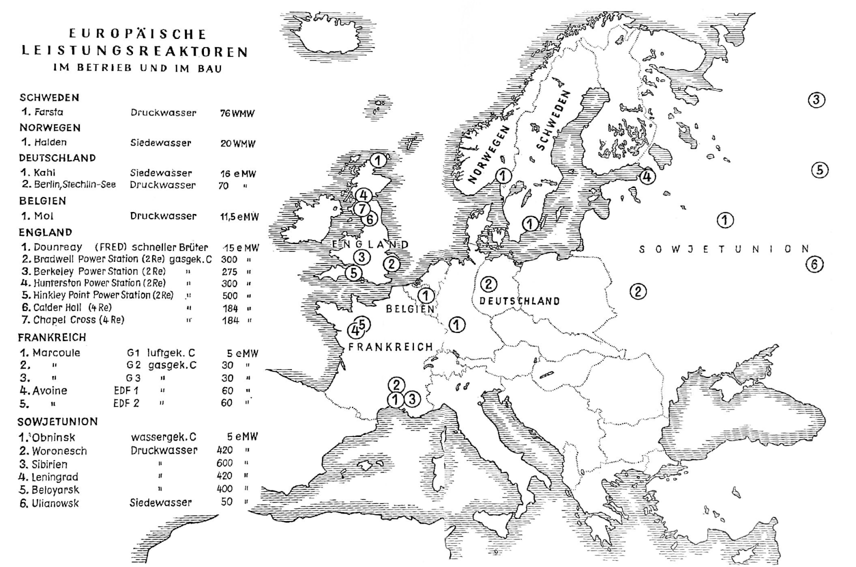
LEXIKON DER KERN- UND REAKTOR-TECHNIK

HÖCKER-WEIMER


AMERIKANISCHE
LEISTUNGSREAKTOREN
IM BETRIEB UND IM BAU
KANADA
1. Des Joachims, Druckwasser 20 eMW
VEREINIGTE STAATEN
1. Vallecitos, Cal. Siedewasser 5 eMW
2. Santa Susana, SRE Na-C 6,5 "
3. Arco Idaho, EBR schneller Bruter 20 "
4. " Siedewasser 0,2 "
5. " schneller Bruter 0,2 "
6. Lemont, Jll. EBWR Siedewasser 5 "
7. Dresden, Jll. Siedewasser 180 "
8. Rowe, Mass. Druckwasser 134 "
9. Monroe, Mich. PRDC schnell 100 "
10. Indian Point, N.Y. Druckwasser 163 "
11. Shippingport, Penn. PWR Druckw. 60-100 "
12. Oak Ridge, Tenn. HRT Homogen 0,3 "
13. Fort Belvoir, Virg. APPR Druckwasser 2 "
KANADA
VEREINIGTE STAATEN



EUROPÄISCHE
LEISTUNGSREAKTOREN
IM BETRIEB UND IM BAU
SCHWEDEN
1. Farsta Druckwasser 76 WMW
NORWEGEN
1. Halden Siedewasser 20 WMW
DEUTSCHLAND
1. Kahl Siedewasser 16 eMW
2. Berlin, Stechlin-See Druckwasser 70 "
BELGIEN
1. Mol Druckwasser 11,5 eMW
ENGLAND
1. Dounreay (FRED) schneller Brüter 15 e MW
2. Bradwell Power Station (2 Re) gasgek. C 300 "
3. Berkeley Power Station (2 Re) " 275 "
4. Hunterston Power Station (2 Re) " 300 "
5. Hinkley Point Power Station (2 Re) " 500 "
6. Calder Hall (4 Re) " 184 "
7. Chapel Cross (4 Re) " 184 "
FRANKREICH
1. Marcoule G1 luftgek. C 5 eMW
2. " G2 gasgek. C 30 "
3. " G3 " 30 "
4. Avoine EDF 1 " 60 "
5. " EDF 2 " 60 "
SOWJETUNION
1. Obninsk wassergek. C 5 eMW
2. Woronesch Druckwasser 420 "
3. Sibirien " 600 "
4. Leningrad " 420 "
5. Beloyarsk " 400 "
6. Ulianowsk Siedewasser 50 "
NORWEGEN
SCHWEDEN
ENGLAND
BELGIEN
DEUTSCHLAND
FRANKREICH
SOWJETUNION



LEXIKON DER KERN-
UND REAKTORTECHNIK



Lexikon der Kern- und Reaktortechnik

Herausgegeben von

K. H. Höcker und K. Weimer

Band II: L-Z



FRANCKH'SCHE VERLAGSHANDLUNG
STUTTGART

Schutzumschlag von Erich Fehrle

Franckh'sche Verlagshandlung, W. Keller & Co., Stuttgart / 1959 /

Printed in Germany / Verlagsnummer 2946 Str / Gesamtherstellung: Konrad Triltsch, Graphischer Großbetrieb, Würzburg

L

Laborsystem = Beobachtersystem, s. Nachtrag.

Ladung, spezifische, die durch die Masse dividierte L. eines Elektrons oder Ions. Die sp. L. läßt sich in einem Strahl fliegender Teilchen durch Messung der elektrischen und magnetischen Ablenkung bestimmen; außerdem gibt es eine große Zahl, z. T. sehr genauer indirekter Methoden. Die sp. L. des Elektrons ist:

$$e/m = 5{,}273 \cdot 10^{17} \text{ el. stat. Einh./g} = 1{,}7589 \cdot 10^{8} \text{ C/g}.$$

Die sp. L. des Protons ist im Verhältnis m/M, also 1836mal kleiner, nämlich:

$$e/M = 95\,797 \text{ C/g}.$$

Dies ist beinahe gleich der Faradayschen Konstanten

$$F = 96\,524 \text{ C/g-Äquivalent (physikalisch)}.$$

Der geringe Unterschied rührt daher, daß 1 g-Äquivalent Wasserstoff nicht 1 g, sondern 1,008 g Wasserstoff ist.

Für irgendein Ion erhält man die sp. L., indem man die Faradaysche Konstante F mit der Anzahl der Elementarladungen (Wertigkeit) des Ions multipliziert und durch das Atomgewicht dividiert. [1]

engl.: specific charge *franz.: charge spécifique*

Ladungsabhängigkeit der **Kernkräfte,** s. Kernkräfte.

engl.: charge dependence of nuclear forces
franz.: dépendance des forces nucléaires de la charge

Ladungsdosis, s. Dosis.

Ladungsübergang, Ladungsaustausch, Übergang einer positiven oder negativen Ladung von einem Atom (Molekül) zum anderen, s. a. Umladung. [18]

engl.: charge transfer
franz.: transfert de charge

Langzeitverhalten des Reaktors, umfaßt die Vorgänge des Abbrandes von Spaltstoff, der Verschlackung und der Konversion bzw. des Brütens von neuem Spaltstoff. [13]

engl.: long time behavior
franz.: comportement à longue échéance

Lanthan

Lanthan (La), Element der seltenen Erden mit der Ordnungszahl 57; Atomgewicht 138,92; Schmelzpunkt: 826 °C; Siedepunkt: 1800 °C; Dichte 6,15. Einfangsquerschnitt für thermische Neutronen $\sigma_a = 8{,}9$ barn. Das natürlich vorkommende La besteht zu 0,089 % aus dem radioaktiven Isotop $^{138}_{57}La$, das eine Halbwertszeit von $2 \cdot 10^{11}$ a besitzt.

$$^{138}_{57}\mathrm{La} \xrightarrow[2 \cdot 10^{11}\,\mathrm{a}]{6\,\%\ \beta^-} {}^{138}_{58}\mathrm{Ce}$$

$$^{138}_{57}\mathrm{La} \xrightarrow[94\,\%\ EC]{2 \cdot 10^{11}\,\mathrm{a}} {}^{138}_{56}\mathrm{Ba}$$

[3]

engl.: lanthanum
franz.: lanthane

Lanthaniden, die in der 6. Periode des Periodischen Systems auf das *Lanthan folgenden 14 Elemente der *Seltenen Erden mit den Ordnungszahlen 58–71. Sie füllen die noch ungesättigte 4. Elektronenschale von 18 auf 32 Elektronen auf und sind chemisch sehr ähnlich, da sie sich nur im Aufbau ihrer drittäußersten Elektronenschale unterscheiden. Eine Trennung ist deshalb sehr schwierig und beruht meistens auf geringen Unterschieden in der Löslichkeit oder der Basizität der Salze oder auf der verschiedenen Wertigkeit der Erden. Mit steigendem Atomgewicht nimmt der Ionenradius der Lanthaniden ab (Lanthanidenkontraktion). Die wichtigsten Mineralien sind Monazit und Monazitsand. Die Lanthaniden finden Verwendung als färbende Zusätze zu Gläsern. Sie fallen bei der Urankernspaltung in größerer Menge an. [3]
engl.: lanthanides *franz.: lanthanides*

Lanthanidenkontraktion, Abnahme des Ionenradius mit steigendem Atomgewicht der Lanthaniden, hervorgerufen durch die steigende Kernladungszahl und den Einbau der Elektronen nicht in die äußere, sondern in eine innere, in die 4 f-Schale. Die gesamte Elektronenhülle wird dadurch stärker an den Kern gebunden, der Radius wird kleiner. [18]
engl.: lanthanide contraction
franz.: contraction des lanthanides

Laplace-Transformation

Laplace-Transformation, ein wichtiges Hilfsmittel zur Integration von Differentialgleichungen. Die L. T. hat wichtige Anwendungsbereiche in der Elektrotechnik und Regeltechnik gefunden und ist auch in der Reaktortheorie, insbesondere in der *Reaktorkinetik von Nutzen. Die Funktion $F(t)$, welche für alle $t > 0$ definiert ist und nur wenig Einschränkungen unterworfen sein muß, wird einer L. T. unterzogen, indem man sie mit e^{-st} multipliziert und über t integriert:

$$f(s) = \int_0^\infty e^{-st} \cdot F(t)\,dt\,.$$

Es entsteht eine neue Funktion $f(s)$ der (komplexen) Variablen s. Man nennt $F(t)$ die „Oberfunktion" und $f(s)$ die „Unterfunktion" oder Laplace-Transformierte. Die Gesamtheit aller Oberfunktionen heißt „Oberbereich", die aller Unterfunktionen heißt „Unterbereich". Man kann die obenstehende Operation z. B. durch

$$f(s) = L\,\{F(t)\} \quad \text{oder} \quad f(s) = \bar{F}(p)$$

abkürzen.

Der Vorteil der L. T. liegt darin, daß manche Differentialgleichungen einschließlich der Randbedingungen nach der Transformation in einfache algebraische Gleichungen übergehen, deren Lösung man leicht ermitteln kann. Diese Lösungen müssen allerdings wieder in den Oberbereich rücktransformiert werden. Dies geschieht durch die *inverse* L. T.:

$$F(t) = \frac{1}{2\pi i} \int_{x - i\infty}^{x + i\infty} e^{ts} \cdot f(s)\,ds\,.$$

Der Integrationsweg ist eine Parallele zur Imaginärachse und x muß so gewählt werden, daß der Weg rechts von allen Polen von $f(s)$ liegt. Die inverse L. T. ist nicht leicht zu handhaben, doch kann man in den meisten in Frage kommenden Fällen die Umkehrfunktion einer der Tabellen für L. T. entnehmen.

Von besonderer Wichtigkeit ist in manchen Anwendungen der *Faltungs-Satz*. Eine Faltung $F_1 * F_2$

liegt vor, wenn die Funktionen F_1 und F_2 durch ein Integral in der Form

$$F_1 * F_2 = \int_0^t F_1(t') \cdot F_2(t - t')\,dt$$

miteinander verkoppelt sind. Transformiert man eine Faltung, so ergibt sich das Produkt der Transformierten:

$$L\{F_1 * F_2\} = L\{F_1\} \cdot L\{F_2\} = f_1(s) \cdot f_2(s).$$

[13]

engl.: Laplace transformation

franz.: transformation de Laplace

Lit.: G. Doetsch, Tabellen zur Laplace-Transformation, Springer, Berlin, 1947. – Tables of Integral Transforms, McGraw-Hill, New York, 1954.

Larmorfrequenz, s. Nachtrag.

LASL, Abk. für *Los Alamos Scientific Laboratory.

Last, s. Nachtrag.

Latenzzeit, der Zeitraum zwischen Bestrahlungszeitpunkt und dem Auftreten der Strahlenwirkung bei einem biologischen Objekt. [2]

engl.: latent period *franz.: temps de latence*

Laufzeitspektrometer, s. Nachtrag.

Laugenkonzentrations-Messung stark radioaktiver Lösungen wird mittels Potentiometrischer *Titration (Beckman-Glas-Kalomel-Elektrodenkette) vorgenommen. [22]

Laugung, s. Extraktion.

engl.: leaching *franz.: lessivage*

Lauritsen-Elektroskop, ein robustes, aber empfindliches Elektroskop, das einen metallisierten Quarzfaden als empfindlichen Teil benutzt. [7]

engl.: Lauritsen electroscop

franz.: électroscope de Lauritsen

Lavaldüse, s. Trenndüse.

Laves-Phase, s. Intermetallische Verbindung.

engl.: Laves phase *franz.: phase de Laves*

Lebensdauer. Als L. oder auch m i t t l e r e L. bezeichnet man bei einem System, das eine statistisch bedingte Änderung dz gemäß $dz = -z\,\lambda\,dt$ (was zu der Zeitabhängigkeit $z(t) = z_0\,e^{-\lambda t}$ führt) erleiden kann, den reziproken Wert der Konstanten λ. Je höher

die Änderungswahrscheinlichkeit, desto kürzer ist die L. im ungeänderten Zustand. Der Begriff der L. findet vor allem Anwendung bei angeregten Zuständen von Atomen und Kernen (s. Anregung), wo die L. normalerweise ca. 10^{-8} bzw. 10^{-14} s beträgt, bei metastabilen Zuständen aber auf ein hohes Vielfaches ansteigen kann (s. Isotopentabelle), beim radioaktiven Zerfall und im Reaktor (Neutronen-L.).

Beim radioaktiven Zerfall ist λ die Zerfallskonstante und die L. $1/\lambda$ steht mit der *Halbwertzeit T in der einfachen Beziehung:

$$1/\lambda = T/\ln 2 .$$

Nach der Wahrscheinlichkeitsrechnung stellt die L. den Erwartungswert der noch verbleibenden „Lebenszeit" im ungeänderten Zustand dar. Für den Reaktor ist die L. thermischer Neutronen von Bedeutung. Man versteht darunter jene Zeit, die ein thermisches Neutron im Mittel (im Sinne obiger Definition) existiert, bevor es absorbiert wird. Für ein unendlich ausgedehntes Medium ist

$$l = \frac{1}{\Sigma_a \cdot v} ,$$

v thermische Geschwindigkeit des Neutrons, Σ_a makroskopischer Absorptionsquerschnitt. Die Neutronen-L. wird gewöhnlich mit l (statt λ) bezeichnet. – Bei einem endlichen Medium ist die Ausflußwahrscheinlichkeit zu berücksichtigen. Das ergibt die effektive L.

$$l_{\text{eff}} = \frac{1}{\Sigma_a \cdot v (1 + L^2 B^2)} ,$$

L Diffusionslänge, B geometrische Flußwölbung.
S. a. Generationsdauer. [1, 7]
engl.: mean life *franz.: vie moyenne*

Lebensdauer, verallgemeinerte, nennt man die *Neutronen-Lebensdauer nach der Einfluß-Konzeption. Die v. L. ist definiert durch

$$l(t) = \frac{\iint (1/v)\, \Phi^{\dagger}(\mathfrak{r}, E)\, \Phi(\mathfrak{r}, E, t)\, \mathrm{d}E\, \mathrm{d}V}{\iint \Phi^{\dagger}(\mathfrak{r}, E)\, \boldsymbol{K}\Phi(\mathfrak{r}, E, t)\, \mathrm{d}E\, \mathrm{d}V} .$$

Dabei bedeutet $\Phi^{\dagger}$ die *Einflußfunktion (unter diesem Stichwort ist auch der „Verlustoperator" $\boldsymbol{K}$ näher

beschrieben). Im Zähler steht der verallgemeinerte Neutroneninhalt (Gesamteinfluß), im Nenner der Einfluß der pro s durch Absorption und Ausströmen verlorengehenden Neutronen. Betrachtet man speziell einen nackten, homogenen, thermischen Reaktor, so ist $\boldsymbol{K}$ durch $\boldsymbol{K} = -D\,\Delta + \Sigma_a$ definiert und die v. L. geht in die gewöhnliche Neutronen-Lebensdauer

$$l = \frac{1}{\Sigma_a\, v(1 + L^2 B^2)}$$

über. Die v. L. spielt in der *Reaktorkinetik eine Rolle.
engl.: generalized lifetime
franz.: vie moyenne généralisée

Lecksucher dient zum Aufsuchen von Undichtigkeiten in Vakuumanlagen und Anlagen, deren Gasinhalt nicht mit der atmosphärischen Luft in Berührung kommen darf (z. B. Diffusionstrennanlagen, Reaktorkühlsysteme). Moderne Geräte weisen massenspektroskopisch Edelgase nach. Man wählt solche, die normalerweise in der Atmosphäre nur in sehr kleinem Umfang vorhanden sind, z. B. Helium, Neon oder Argon. Es lassen sich dann mit betriebssicheren Geräten noch Partialdrucke der Spürgase von 10^{-9} Torr nachweisen. Die zu überprüfende Anlage wird mit dem Spürgas angeblasen. Nähert man sich mit der Gasdüse einer Undichtigkeit, so zeigt der L. einen Ausschlag. Neben Edelgasen können auch andere Spürgase benutzt werden. [6]
engl.: leak detector *franz.: détecteur de fuites*

Ledeburit, das Gefüge der eutektischen Eisen-Kohlenstoff-Legierung mit 4,3 % C. Es besteht aus feinen Lamellen von Eisenkarbid und Eisen. [4]
engl.: ledeburite *franz.: lédéburite*

Leerraumkoeffizient der Reaktivität, syn. für *Blasenkoeffizient. Im Gegensatz zum Blasenkoeffizient drückt der L. auch den Einfluß des Volumens aus, der evtl. zwischen Spaltzone und Reflektor als Hohlraum verbleibt, z. B. bei einem Wasserkocher, bei dem das Reaktorgefäß naturgemäß nicht bis an den oberen Rand gefüllt ist. Die Berechnung geschieht in der Regel analog zum Blasenkoeffizient, indem man den Leerraum sich homogen über die Spaltzone verteilt

denkt, wobei gegebenenfalls der an der Stelle des Leerraums herrschende relative *Einfluß berücksichtigt wird. [7]
engl.: void coefficient *franz.: coefficient de vides*

Leerstelle, unbesetzter Platz eines Atoms, Ions oder Moleküls in einem Kristallgitter. [4]
engl.: vacancy *franz.: place vacante, vide*

Leerversuch, probemäßiges Durchspielen des kritischen Experiments bei einem Wasserkocher, wobei der Spaltraum leer bleibt. [7]
engl.: dry run *franz.: essai à vide, essai à blanc*

L-Einfang, s. K-Einfang.

Leistung, installierte, einer Maschine ist die L., mit der sie wirklich betrieben werden kann. Bei mehreren Maschinen (gleicher Art) in einem Kraftwerk wird häufig dieser Begriff für die Summe der installierten L.n dieser Maschinen verwendet. Bei Turbinen z. B. sind darin auch evtl. vorhandene Hilfsturbinen, die der Deckung des Eigenbedarfs dienen, eingeschlossen. Für „installierte Turbinenleistung" ist häufig der Begriff „installierte Kraftwerksleistung" in Gebrauch. Da z. B. eine geplante „Reaktorleistung" noch mit einer größeren Unsicherheit behaftet ist als eine „geplante" Turbinenleistung, können die entsprechenden i. L. in einem Atomkraftwerk verschieden sein. Die Differenz von i. L. und *Nennleistung ist ein Maß für die Ungenauigkeiten, mit denen die Planung behaftet ist. [21]
engl.: installed power *franz.: puissance installée*

Leistung, spezifische. In einem Reaktor bezeichnet man die je kg spaltbares Material erzeugte Leistung als spezifische Leistung, charakteristische Zahlen beim Stichwort Leistungsdichte (S. 13). [5]
engl.: specific power *franz.: puissance spécifique*

Leistung, verfügbare, eines Kraftwerkes (oder einer Gruppe von Kraftwerken) ist die L., die zu einer bestimmten Zeit – ohne Rücksicht auf wirtschaftlichsten Betrieb – wirklich einsatzfähig ist. Sie ergibt sich aus der *Engpaßleistung durch Verminderung um die L. der in Reparatur und Überholung befindlichen Anlageteile, soweit sie erstere herabsetzen. [21]
engl.: available power *franz.: puissance disponible*

Leistungsbereich

Leistungsbereich, derjenige Teilbereich des gesamten Neutronenflußbereichs, in dem neben der *Neutronenflußüberwachung auch wärmetechnische Leistungsmessungen (aus Kühlmittelgeschwindigkeit und Temperaturanstieg) möglich sind. Der L. umfaßt normalerweise etwa 2 bis 3 Zehnerpotenzen unterhalb der Vollast und ist somit praktisch mit dem *Ausgleichsbereich des Startverlaufs identisch. [9]
engl.: power range
franz.: régime de puissance
Lit.: M. A. Schultz, Control of Nuclear Reactors and Power Plants, McGraw-Hill, New York, 1955.

Leistungsdichte beim Reaktor, die pro s und cm^3 freigesetzte und in Form von Wärme verwertbare Kernenergie in W/cm^3 (oder kW/l). Man unterscheidet die mittlere und die örtliche (lokale) L. Die örtliche L. in einem Reaktor ergibt sich mittels des Umrechnungsfaktors $c = 3{,}1 \cdot 10^{10}$ Spaltungen je Ws zu

$$P = \frac{\Phi \, \Sigma_f}{c} \cdot \varkappa$$

und ist proportional zum örtlichen Neutronenfluß Φ und Spaltquerschnitt Σ_f. $\varkappa$ gibt den Anteil der Spaltenergie an, der in der Spaltzone in Wärme umgesetzt wird, $\varkappa \approx 0{,}95$. Der maximale L. tritt also dort auf, wo $\Phi \, \Sigma_f$ seinen Höchstwert hat. Beim heterogenen Reaktor ist die L. in den Brennstoffelementen ausschlaggebend. Man erhält sie, indem man oben Φ durch den Fluß im Brennstoff Φ_{Br} ersetzt.
Als mittlere L. für den inneren Aufbau eines Reaktors mit dem Volumen V bezeichnet man

$$n = \frac{1}{c} \frac{\int \Phi \, \Sigma_f \, dV}{V} = \frac{N_r}{V}$$

oder

$$n = \frac{\overline{\Phi} \, \Sigma_f}{c},$$

falls man Σ_f als ortsunabhängig ansehen kann. Um die mittlere L. in einem Brennstoffelement zu erhalten, hat man über dessen Volumen zu mitteln. Die L. wird mitunter auch in MW je t Spaltstoff ausgedrückt. Es

sind drei Definitionen der mittleren Leistungsdichte in Gebrauch, die auf die Präzisierung von V hinauslaufen: Leistungsdichte

1. $n_g = \frac{N_r}{V_r}$ — N_r Leistung des Reaktors, V_r Volumen der Spaltzone.
2. $n_k = \frac{N_r}{V_k}$ — V_k Volumen des Kühlmittels in der Spaltzone.
3. $n_b = \frac{N_r}{V_b}$ — V_b ist entweder das Gewicht bzw. Volumen des Brennstoffeinsatzes (n_b) oder das Gewicht bzw. Volumen der spaltbaren Atome im Reaktor (n'_b).

Die Werte dieser Größen sind bestimmt durch das verwendete Kühlmittel, die Wärmeübertragungsverhältnisse, Betriebstemperaturen, Moderator und Brennstoff. Diese Größen haben einen wesentlichen Einfluß auf die Wirtschaftlichkeit eines Atomkraftwerkes (s. Leistungsreaktoranlage-Kosten).

Für die verschiedenen Reaktortypen haben die mittleren L.n folgende Größenordnung:

Reaktortyp		$n_g\left[\frac{\text{kW}}{\text{Liter}}\right]$	$n_k\left[\frac{\text{kW}}{\text{Liter}}\right]$	$n'_b\left[\frac{\text{MW}}{\text{kg U}^{235}}\right]$	$n_b\left[\frac{\text{kW}}{\text{kg U}}\right]$
gasgekühlt		0,6	0,6	0,3	2
wassergekühlt	het. D_2O	10	12	3,5	25,4
	hom. D_2O	17	17	2	430
	het. H_2O	60	90	0,75	11,5
Flüssigmetall gekühlt C moderiert		10	150	0,7	10
Schneller Reaktor		900	2000	0,55	6,6
Zum Vergleich:					
Dampfkessel natürl. Uml.		0,5	—	—	—
erzwung. Uml.		10	—	—	—
Flugzeug-Gasturb.		44	—	—	—
Raketen-Brennkammer (V 2)		20 000	—	—	—

Vom ökonomischen Standpunkt aus wird eine möglichst hohe mittlere L. angestrebt, da ein kleineres Volumen des Spaltraumes einen geringeren Aufwand an kostspieligen Reaktormaterialien bedeutet. Die Grenze wird durch die Belastbarkeit der Brennstoffelemente und die Leistungsfähigkeit der Kühlanlage bestimmt.
Die Ausnützung der Spaltzone wird um so besser, je homogener die L. ist, d. h. je mehr sich die lokale L. der mittleren nähert. Für den homogenen (und annähernd auch für den großen heterogenen) Reaktor ist dafür das Verhältnis Φ_{max}/Φ maßgebend (siehe Formfaktoren). [5, 13, 21]
engl.: power density
franz.: densité de puissance, puissance volumique

Leistungskoeffizient eines Reaktors gibt die Änderung der Reaktivität bei zunehmender Leistung an. Bei heterogenen Reaktoren unterscheidet sich dieser vom *Temperaturkoeffizienten wegen des Temperaturgradienten im Brennstoffelement, Moderator und Kühlmittel. [7]
engl.: power coefficient
franz.: coefficient de puissance

Leistungsrauschen, s. Nachtrag.

Leistungsreaktoranlage. Eine L. besteht aus folgenden Hauptanlageteilen:

1. Reaktor,
2. Wärmeaustauscher mit Primärkreispumpen,
3. Turbogeneratoranlage mit dem dazugehörigen Dampfkreislauf (Vorwärmeranlage, Kondensator) und dem Kühlwassersystem.

Als die wichtigsten Hilfsanlagen sind zu nennen:

a) Einrichtung zur Brennstoffhandhabung (Auswechselmaschine, Anlage für Lagerung verbrauchten Brennstoffs),
b) Kühlmittelreinigungssystem,
c) Filtersystem für Abgase und Abwässer,
d) Anlage für radioaktiven Abfall,
e) Lager für Brennstoff, Kühlmittel u. a.

Für die Gesamtanlage muß die Sicherheit unter allen Umständen gewährleistet sein (s. Sicherheitsforderungen und Sicherheitsbericht).

Leistungsreaktor

Ein L. soll in erster Linie nutzbare Energie liefern. Das geschieht bei den z. Z. betriebenen und geplanten Reaktoren durch die Erzeugung von Wärme, die in mechanische Arbeit oder Elektrizität umgesetzt werden kann. Der Wirkungsgrad hierfür ist bekanntlich um so größer, je höher die Temperatur ist. Hohen Temperaturen wird im Reaktor durch die Eigenschaften der Reaktormaterialien eine Grenze gesetzt (s. keramische Brennstoffelemente). Als Kühlmittel werden bevorzugt die Flüssigkeiten H_2O, D_2O, Terphenyl, flüssiges Na und das Gas CO_2 verwendet. Im Gegensatz zum Forschungsreaktor ist man, um eine gute Ausnützung der Wärmeenergie zu ermöglichen, an einer hohen Betriebstemperatur, nicht aber an einem hohen Neutronenfluß, interessiert. Man hat Leistungsreaktoren für stationäre und für bewegliche Anlagen zu unterscheiden. Letztere werden z. Z. zum Antrieb von Schiffen und Flugzeugen konstruiert. Ihre Konstruktionsprinzipien unterscheiden sich beträchtlich von den zur Stromerzeugung dienenden stationären Reaktoren (kleines Volumen und Gewicht, erweiterte Unfallsicherheit, völlig andere Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkte). Stationäre L. dienen z. Z. oft nicht nur der Energieerzeugung, sondern auch der Plutoniumproduktion. Solche *Zweizweckreaktoren (z. B. Calder Hall) stehen konstruktionsmäßig zwischen den reinen L. und den Produktions-Reaktoren. Zu letzteren gehören die für militärische Zwecke arbeitenden Plutoniumfabriken, bei denen die erzeugte Wärme nicht ausgenutzt wird (Hanford [USA], Windscale [England] und Marcoule [Frankreich]). Auf diese Reaktoren können nicht die wirtschaftlichen Maßstäbe, die für reine Leistungsanlagen gelten, angewandt werden.

Kosten

Von einem Leistungsreaktor als Industrieanlage muß gefordert werden, daß er die Erzeugung elektrischen Stromes zu billigstem Preis und mit hoher Betriebssicherheit gestattet. Um daraus Konstruktionsprinzipien abzuleiten, ist es zweckmäßig, die einzelnen Anteile der Stromerzeugungskosten anzugeben:

Leistungsreaktoranlage

1. Anlagekosten A und Kosten des ersten Brennstoffsatzes A_b. Die Größe dieses Anteils wird durch die geltenden Zinssätze, die Abschreibungsdauer und die jährlichen Benutzungsstunden der Anlage (Lastfaktor) bestimmt.
2. Brennstoffkosten b (pro kWh), zusammengesetzt aus: Uranverbrauch, Herstellungs- und Wiederaufbereitungskosten und Wert des Plutoniums.
3. Sonstige Kosten s (pro kWh). Betriebskosten, Steuern, Versicherungen usw.

Es lassen sich bei einer Kernkraftanlage nicht alle drei Posten gleichzeitig möglichst klein machen. Niedrige Kosten der Brennstoffelemente sind z. Z. mit hohen Anlagekosten verbunden und umgekehrt. Zum Bau eines guten Leistungsreaktors ist daher das sorgfältige Aufsuchen des durch alle gegenläufigen Einflußfaktoren bestimmten Optimums notwendig. Wegen 1. ist die Lage dieses Optimums von den Bedingungen in dem Land des Bauherrn der Anlage abhängig.
Die Größen, welche die Anlagekosten A, bezogen auf die elektrische Abgabeleistung N_a, bestimmen, sind:

1. Die Leistungsdichten

$$n_g = \frac{N_r}{V_r} \text{ und } n_K = \frac{N_r}{V_k} ,$$

dabei bedeutet N_r die Reaktorleistung, V_r das Volumen der Spaltzone und V_k das Volumen des darin befindlichen Kühlmittels.

2. Der Kraftwerkswirkungsgrad

$$\eta_K = \frac{N_a}{N_r} .$$

3. Mittlere Material- und Herstellungskosten m_c des Reaktors (ohne Abschirmung), bezogen auf V_r.
4. Kosten für die notwendige Kühlmittelmenge m_k, bezogen auf V_k.
5. Kosten des Reaktorgebäudes einschließlich Abschirmung m_s, bezogen auf das Volumen des umbauten Raumes V_s.
6. Kosten der Regel- und Kontrolleinrichtungen A_r.

7. Kosten der Wärmeaustauscheranlage A_w.
8. Kosten der Neben-Aggregate und -Anlagen des Reaktors A_n, wie Auswechseleinrichtungen für Brennstoffelemente, Pumpen, Rohrleitungen, Behälter für verbrauchten Brennstoff usw.
9. Kosten der Turbinen, Generatoren und anderen konventionellen Anlageteilen und Sonstiges A_t.

Mit den genannten Größen gilt die Gleichung:

$$\frac{A}{N_a} = \frac{1}{\eta_K}\left(\frac{m_c}{n_g} + \frac{V_s\, m_s}{V_r\, n_g} + \frac{m_K}{n_K} + \frac{A_r + A_n + A_w + A_t}{N_r}\right).$$

Zu diesen Anlagekosten kommen noch die Kosten der ersten Brennstoffüllung A_b. Sind m_b die Material- und Herstellungskosten eines Brennstoffelementes, bezogen auf sein Gewicht, so gilt:

$$\frac{A_b}{N_a} = \frac{1}{\eta_K} \cdot \frac{m_b}{n_b},$$

n_b ist die thermische Reaktorleistung, bezogen auf das Gewicht des Brennstoffsatzes.

Die Brennstoffkosten b pro kWh lassen sich aus folgender Beziehung errechnen:

$$b = \frac{10^{-3}}{24\, \eta_K\, a}\,[m_b - (k \cdot m_p + m_w - m_a - m_t)]\,.$$

Darin bedeutet: a mittlerer betrieblicher Abbrand in MWTagen/Tonne Brennstoff, m_p Preis von 1 kg Plutonium, k Menge Plutonium (in kg) in einer Tonne des verbrauchten Brennstoffsatzes (es ist dabei auf den von der Isotopenzusammensetzung des Pu abhängigen Preis zu achten), m_w Preis der Tonne wiederaufbereiteten Brennstoffs (ohne Pu), m_a Aufbereitungspreis pro Tonne des Brennstoffsatzes, m_t Transportkosten für frischen und verbrauchten Brennstoff.

Die Stromerzeugungskosten E berechnen sich aus den angegebenen Anteilen nach der Beziehung:

$$E = b + \left(\frac{A}{N_a}\right) \cdot \frac{Z_1}{L} + \left(\frac{A_b}{N_a}\right) \cdot \frac{Z_2}{L} + \frac{S}{L}$$

Z_1 und Z_2 sind hier die sich aus Zins und Abschrei-

bungsdauer bestimmenden jährlichen Belastungsfaktoren. $N_e \cdot L$ ist die Zahl der jährlich erzeugten kWh. E ist durch optimale Wahl aller genannten Größen, nämlich von η_k, der verschiedenen Leistungsdichten, der Kraftwerksgröße, der verschiedenen Material- und Herstellungskosten, des Abbrandes, des Konversionsgrades und des Lastfaktors möglichst klein zu machen.

Forderungen an den Standort
betreffen 1. Sicherheit, 2. energiewirtschaftliche Lage, 3. Technik.

1. Die wesentlichen Sicherheitsforderungen betreffen:
   a) Bevölkerungsdichte in der Kraftwerksumgebung. In England sollen sich innerhalb von 800 m nur wenige dauernd bewohnte Häuser, innerhalb von 8 km keine Städte über 10 000 Einwohner befinden.
   b) Klimatische und geologische Verhältnisse: Hauptwindrichtungen, Nebel- und Inversionszonenhäufigkeit, Hochwassergefährdung, Pflanzen- und Tierwelt der Umgebung, vor allem im Fluß. Diesen Gegebenheiten eines Standortes kann man meistens bis zu einem gewissen Grad bei der Konstruktion der Anlage gerecht werden.
   c) Sicherstellung des Eigenbedarfs der Anlage (zweiter unabhängiger Anschluß ans Netz).
2. Eine gut energiewirtschaftliche Lage erfordert:
   a) Günstige Lage zu einem Hochspannungsnetz, das die Kraftwerksleistung aufnehmen kann.
   b) Günstige Lage zu Verbrauchsschwerpunkten der Energie. Wegen des erstrebten Grundlastbetriebes ist die Möglichkeit, nachts auf ein Pumpspeicherwerk arbeiten zu können, zu beachten.

Kosten der wichtigsten Leistungsreaktoranlagen (im wesentlichen nach J. A. Lane, Progress in Nuclear Energy 1956, es wird ein Lastfaktor von 80 % vorausgesetzt). Die Unsicherheit der Kostenangaben drückt sich in ihrem Anstieg zwischen 1955 und 1957 aus (1 mill = 0,42 Dpf)

		fortgeschritt. Calder Hall-Typ (1957) (Hunterston 2 Reakt.)	Siedewasser-Reaktor (1956) Zwangsumlauf		Druckwasser-Reaktor Yankee Atomic Electric (1957)	Na-C Reaktor (1955) Projekt	L.M.F.R. C-moderiert (1955) Projekt	Homogener Brüter (ORNL) (1955) Projekt	Schneller Brutreaktor (1955) Projekt
			Proj. 1955	Dresden-anl. 1957					
Kühlmittel		CO_2	D_2O	H_2O	H_2O	Na	U-Bi-Brennstoff		
Therm. Leistung	MW	350	1000	627	480	243	550	440	500
Kraftwerkswirkungsgrad	%	30	24,8	27	28	31,6	38,2	23	30
Brennstoff		nat. U	nat. U	1,5% U235	2,6% U235	1,8% U235	90% U233	90% U235	Pu239
		251 t	39,5 t	54,42 t	28,8 t UO_2	24,6 t	23−45 kg	90 kg	500 kg
							21 t Th	26 t D_2O	
							190 t Bi	15 t Brut-[mat.	
Abbrand	MWT/t	3000	10 000	10 000	8400				
Konversionsgrad		0,80	0,9	0,6		0,72	> 1,0		
Anlagekosten	$/kW	400	250	290	340	360−390	235	250	300
Reaktormaterialien			43	175−244		60−90			50−100
Kapitaldienst									
für Reaktor	%	13	12	13	13	15	16	15	10
für Turbinenanlage	%	13	12	13	13	15	16	15	10
für Brennstoffsatz	%	8	12	8	8	4	4	4	5
für D_2O	%		17					9	
Feste Kosten									
Reaktor	mills/kWh		4,2			3,9	5,5	4,3−5,3	4,3
Turbinenanlage	mills/kWh					2,6			
Brennstoffsatz	mills/kWh		0,3	0,8		0,3−0,5	0,2−0,3	0,1−0,2	0,36−0,72
D_2O	mills/kWh	0,7	0,7						
Pu-Kredit	mills/kWh	~ 0,5						0,37−0,75	1,1−2,1
Kapitalkosten	mills/kWh	7,4	5,2	5,4	6,3	6,8−7,0	5,7	5,0−5,4	5,0−4,6
Betriebskosten	mills/kWh	1,0	0,9	1,0	1,0	2	0,7	1,0	1,0
Brennstoffkosten m. Pu-Kredit	mills/kWh	2,1	1,6	3,8	4,0	2,0−3,2	1,4	0,9−0,5	2,1−3,2
Stromerzeugungskosten									
1957	mills/kWh	~ 10.5	< 7,7	10,2	11,3	~ 13		9,9	
1955	mills/kWh	~ 6,7	7,7	7,7	9,7	10,8−12,2	7,8	6,5−7,3	8,1−8,8

c) Erweiterungsfähigkeit auf eine Anlagenleistung, die durch den zu erwartenden Mehrbedarf an elektrischer Energie in diesem Gebiet bestimmt ist. Die Erweiterungsfähigkeit wird im wesentlichen durch den verfügbaren Platz (für 300 MW etwa 30 ha) und die vorhandenen Kühlwassermengen bestimmt.

3. Die technischen Forderungen beziehen sich auf:
   a) Menge und Qualität des benötigten Kühlwassers, mögliche Aufwärmspanne des Kühlwassers. Es wird immer Frischwasserkühlung dem teuereren Rückkühlbetrieb mit Kühltürmen vorgezogen.
   b) Bodenverhältnisse (Belastungsfähigkeit).
   c) Verkehrstechnische Situation. Es soll ein guter Straßen- und möglichst auch ein Bahnanschluß möglich sein.
   d) Die sich aus 1b) und 1c) ergebenden Forderungen an Ionenaustauscher, Filter u. a., die dazu dienen, die Radioaktivität der Kühlmittel unter einer notwendigen Grenze zu halten.

Eine endgültige Beurteilung eines Standortes, vor allem in bezug auf seine Sicherheit, kann nur bei genauer Kenntnis der Reaktoranlage, für die er bestimmt ist, erfolgen.

W i r k u n g s g r a d

Der Kraftwirkungsgrad η_K einer Atomkraftanlage setzt sich aus den Wirkungsgraden der Anlageteile zusammen:

$$\eta_K = \frac{N_a}{N_s} = \eta_r \cdot \eta_w \cdot \eta_u \cdot \eta_g \cdot \eta_e \,.$$

Darin ist:

N_a abgegebene elektrische Leistung,

N_s durch Kernspaltung erzeugte thermische Leistung.

Die Teilwirkungsgrade sind:

1. Reaktor: $$\eta_r = \frac{N_w - a\,N_{VR}}{N_s}\,;$$

N_w vom Reaktor nutzbar an den Wärmeaustauscher abgegebene Leistung,

N_{VR} Eigenbedarfsleistung des Reaktors.

$a\,N_{VR}$ Teil von N_{VR}, der dem Kühlmittel durch Pum-

pen bzw. Gebläse wieder zugeführt wird und wieder in den Wärmeaustauscher gelangt.

2. Wärmeaustauscher: $\eta_w = \frac{N_T}{N_w}$;

N_T von Wärmeaustauschern an Turbinen abgegebene Leistung.

3. Umwandlungsprozeß: $\eta_U = \frac{N_m}{N_T} = \eta_c \cdot \eta_T \cdot \eta_z$.

Darin ist:
N_m an den Generator abgegebene mechan. Leistung,
η_c Wirkungsgrad des dazugehörigen Carnotprozesses

$$\eta_c = N_{m\,m}/N_T$$

($N_{m\,m}$ die aus N_T gewinnbare mechanische Arbeit),
η_T Turbinenwirkungsgrad, der die Verluste $N_{T\,V}$ in der Turbine durch Abweichung von der adiabatischen Expansion berücksichtigt,

$$\eta_T = \frac{N_m}{N_m + N_{T\,V}} ,$$

η_z Wirkungsgrad der Wärmezufuhr in Vorwärmer und Reaktor,

$$\eta_z = \frac{N_m + N_{T\,V}}{N_{m\,m}} ;$$

η_z berücksichtigt die Abweichungen vom Carnotprozeß, die durch die Art der Wärmezufuhr (aus dem Reaktor und Vorwärmer) bedingt ist. Es ist üblich, das Produkt $\eta_c\,\eta_z$ zum thermischen Wirkungsgrad η_{th}, der sich auf die verlustlose Umwandlung von Wärmeenergie in mechanische Arbeit in der Turbine bezieht, zusammenzufassen.

4. Generatorwirkungsgrad: $\eta_g = \frac{N_e}{N_m}$;

N_e erzeugte elektrische Leistung.

5. Eigenbedarfs-Wirkungsgrad:

$$\eta_e = \frac{N_a}{N_e} \, \frac{1}{1 - \alpha(N_{V\,R}/N_w)} .$$

In diesem ist der gesamte Eigenbedarf des Kraftwerkes

an Energie berücksichtigt. Der zweite Faktor berücksichtigt den Umstand, daß von der Eigenbedarfsleistung des Reaktors ein Teil wieder ins Kühlmittel zurückfließt.

Vom Standpunkt einer guten Meßbarkeit von η_K ist es zweckmäßig, in diesen η_r nicht einzubeziehen. Die η_r entsprechenden Verluste können in den Leistungsdichten und im Abbrand berücksichtigt werden, indem man diese auf N_w bezieht.

Die Kraftwerkswirkungsgrade der bis heute entwickelten Atomkraftwerke (ohne konventionelle Zusatzüberhitzung des Dampfes) liegen zwischen 21 und 32 %, und zwar liegen die wassergekühlten Reaktoren am unteren Ende, die gasgekühlten zwischen 25 und 28 %. An der Spitze stehen die mit flüssigem Metall gekühlten Typen. [7, 21]

engl.: (nuclear) power station

franz.: centrale atomique

Lit.: W. Riezler u. W. Walcher, Kerntechnik, B. G. Teubner, Stuttgart, 1958.

Leistungsregelkreis, Regelkreis zur Durchführung der *Leistungsregelung.

engl.: power control loop

franz.: circuit de réglage de la puissance

Leistungsregelung, automatische Einstellung und Konstanthaltung der Reaktorleistung auf einen vorgegebenen Sollwert.

Je nachdem, an welcher Stelle die aus dem Reaktor abströmende Leistung konstant gehalten werden soll, kommen folgende Meßwerte als Regelgrößen in Frage: a) Die lokale Leistung in bestimmten Gebieten des Reaktors bzw. an seiner Oberfläche als reine Neutronenflußmessung mit Ionenkammern oder Zählrohren, b) die lokale Wärmeleistung einzelner Brennstoffelemente als Produkt aus Temperaturanstieg und Durchflußmenge bei Einzelkühlungen, c) die integrale Wärmeleistung als Produkt aus Temperaturanstieg und Durchflußmenge des gesamten Kühlmittels, d) die integrale Dampfleistung als Funktion von Temperatur, Druck und Strömungsgeschwindigkeit des Dampfes, e) die integrale Nutzleistung als ins Netz abgegebene elektrische Leistung eines Kraftwerkes.

Fall a) stellt die schnellste Regelung dar und wird deshalb stets dort eingesetzt, wo schnelle Schwankungen ausgeglichen werden müssen (Grenzfrequenz 1 bis 10 Hz). Wegen ihrer hohen Geschwindigkeit wird sie häufig als Ganzes so in eines der anderen Regelsysteme eingebaut, daß der Neutronenflußsollwert von a) dort als Stellgröße für die letztlich maßgebliche Regelgröße wirkt. Die Messungen unter b) dienen im allgemeinen weniger selbst zur Regelung als zur laufenden Überwachung und evtl. Nacheichung der Regelung a). Bei b) bereitet die Auswahl typischer Brennstoffelemente Schwierigkeiten. Die Kraftwerksregelung erfolgt überwiegend nach den Regelgrößen d) und e), wobei die Neutronenregelung a) und u. U. b) und c) als Unterregelung eingesetzt werden (vgl. Kernkraftwerksregelung). Die L. kann praktisch entfallen bei Reaktoren mit sehr steifer Selbststabilisierung um einen bestimmten Leistungs- oder Temperaturwert infolge von extrem nichtlinearen negativen Temperatur-, Druck- oder Kühlungseffekten (z. B. bei Wärmestrahlungsleitung, Siedekühlung und dgl.). [21]

engl.: automatic power control

franz.: réglage de puissance

Lit.: M. A. Schultz, Control of Nuclear Reactors and Power Plants, McGraw-Hill, New York, 1955. – H. Sequenz, Atomkraftwerke und Atomkraftantriebe in Ztschr.: Elektrotechnik und Maschinenbau, Heft 15/16, S. 357, 1955.

Leistungsschreiber, linearer. Die lineare Registrierung des Stromes einer kompensierten Ionisationskammer und damit der Leistung des Reaktors. Der l. L. dient zum genauen Einstellen der Leistung mit den Regelstäben. Mit dem l. L. ist die automatische Regelung verbunden, die den Reaktor auf einer bestimmten eingestellten Leistung hält. [19]

engl.: power recorder

franz.: enrégistreur linéaire de puissance

Leistungsschreiber, logarithmischer. Zur Anzeige der Leistung eines Reaktors werden meistens kompensierte *Ionisationskammern verwendet. Der Strom einer solchen Kammer wird in einem logarithmischen Schreiber registriert. Der l. L. dient nicht zum genauen Einstellen der Leistung mit den Regelstäben – hierfür ist meistens ein linearer L. vorgesehen –, sondern zur

Übersicht und als Protokoll. Außerdem wird durch zeitliche Differenzierung der Anzeige des l. L. die Reaktorperiode gewonnen. [19]

engl.: log N recorder

franz.: enrégistreur logarithmique de puissance

Leistungs-Temperatur-Kopplung. Vergrößert man in einem gerade kritischen Reaktor mit negativem *Temperaturkoeffizienten den effektiven Vermehrungsfaktor k_{eff} um einen Betrag Δk_{eff}, so wird die daraufhin folgende Leistungsänderung schließlich von der Temperaturänderung im Reaktor abhängig sein. Diese ist jedoch selbst eine Funktion der im Reaktor erzeugten Wärmeleistung. Durch diese Kopplung wird sich im allgemeinen die Leistung in gedämpften Schwingungen einem konstanten Wert nähern. Das genaue Zeitverhalten von Leistung und Temperatur nach einer beliebigen Störung läßt sich durch ein System von gekoppelten Differentialgleichungen beschreiben. In einem Reaktorsystem, das aus einem Primärkreislauf und einem Sekundärkreislauf besteht, zeigt sich, z. B. bei erhöhtem Dampfverbrauch der Turbine dem zeitlichen Ablauf nach: ein Abnehmen der Temperatur im Sekundärkreislauf, die im Wärmeaustauscher dem Sekundärkreislauf zugeführte Wärmemenge nimmt zu, die Kühlmitteltemperatur im Primärkreislauf fällt, damit fällt auch die mittlere Reaktortemperatur, die Leistung des Reaktors steigt infolge des negativen Temperaturkoeffizienten, die Temperatur in den Brennstoffstäben steigt, mehr Wärme geht von den Stäben an die Kühlflüssigkeit über, somit steigt deren Austrittstemperatur, die im Wärmeaustauscher in den Sekundärkreislauf übergehende Wärmemenge nimmt zu. Nach einigen vollständigen Umläufen des Kühlmittels wird sich ein neuer stationärer Zustand einstellen. [5]

engl.: power response

franz.: couplage température-puissance

Lit.: C. F. Bonilla, Nuclear Engineering, McGraw-Hill, New York, 1957.

Leistungsüberschlag, Anstieg der Leistung über den stationären Endwert. Ist besonders bei solchen Anstiegen gefährlich, die lang sind im Vergleich zur

*Temperaturverzögerung, da dann *Temperaturüberschläge eintreten können. Zur Ermittlung des zulässigen L. sind deshalb in jedem Einzelfall sorgfältige Untersuchungen erforderlich. [9]
engl.: power overshoot
franz.: à-coup de puissance

Lit.: M. A. Schultz, Control of Nuclear Reactors and Power Plants, McGraw-Hill, New York, 1955. – The Reactor Handbook, Vol. 2, Engineering, McGraw-Hill, New York, 1955.

Leistungswächter. Bei manchen Reaktoren wird eine unkompensierte Ionisationskammer als L. verwendet. Sie ist so ausgelegt, daß sie den Reaktor ausschaltet, wenn die Leistung höher wird als die zulässige maximale Leistung. [19]
engl.: power level safety
franz.: sécurité de puissance

Leitbleche (Schaufeln). Zur Verteilung eines Flüssigkeits- oder Gasstromes und Verringerung der Umlenkverluste dienen schaufel- oder ringförmige Einbauten in Leitungskrümmungen oder an den Einmündungen von Rohrleitungen in Behälter (z. B. Reaktordruckgefäß). [8]
engl.: baffle
franz.: chicanes (aubes), baffle, aubages directeurs

Leitfähigkeit, elektrische, eines Plasmas. Die elektrische L. eines Plasmas ist gegeben durch die Beziehung

$$\sigma = \sum_i \sigma_i = \sum_i e_i n_i b_i ,$$

wobei e_i die Ladung, n_i die Teilchendichte und b_i die Beweglichkeit der i-ten Komponente des Plasmas bedeutet. Nach der einfachen kinetischen Gastheorie ergibt sich b_i zu

$$b_i = \alpha \frac{e_i \lambda_i}{m_i \bar{v}_i} = \alpha' \frac{e_i}{n_i m_i \bar{v}_i Q_i} .$$

Darin ist λ_1 die mittlere freie Weglänge, $\bar{v}_i$ die mittlere thermische Geschwindigkeit, m_i die Masse eines Teilchens und Q_i der Streuquerschnitt für die i-te Kom-

ponente. α und α' sind Konstanten von der Größenordnung eins. Es ergibt sich somit für σ_i

$$\sigma_i = \alpha' \frac{e_i^2}{m_i \, v_i \, Q_i} \, .$$

Aus dieser Gleichung ist zu ersehen, daß die Leitfähigkeit der schweren Ionen gegenüber derjenigen der Elektronen vernachlässigt werden kann. Da Q_i im wesentlichen proportional $(k\,T)^{-2}$ und v_i proportional $(k\,T)^{1/2}$ ist (k Boltzmann-Konstante, T absolute Temperatur), ergibt sich

$$\sigma = \sigma_{\text{el}} = \text{const}\,(k\,T)^{3/2} \, .$$

Eine bessere Formel erhält man aus der strengen kinetischen Gastheorie durch Lösung der Boltzmann-Gleichung. Chapman führte dies mit Hilfe der *Enskogschen Methode für eine Näherung erster Ordnung durch. Spitzer und Mitarbeiter erhalten mit Hilfe einer erweiterten Form der Boltzmann-Gleichung (Anfügen eines sog. *Fokker-Planck-Terms) die Beziehung für die Leitfähigkeit des Plasmas

$$\sigma = \frac{2\,(2\,k\,T)^{3/2}}{\pi^{3/2}\, m_e^{1/2}\, Z\, e^2\, c^2 \ln(q\, C^2)} \; ;$$

$$q\, C^2 = \frac{3}{2\,\pi^{1/2}\, Z^2} \left(\frac{k\,T}{e^2\, n_e^{1/3}} \right)^{3/2} ,$$

wobei Z die Ionenladungszahl und c die Lichtgeschwindigkeit bedeutet. Diese Gleichung ist abgeleitet unter der Annahme, daß der Gradient der Temperatur klein ist, daß nur ein schwaches äußeres elektrisches Feld und kein Magnetfeld angelegt ist. [27]

engl.: electrical conductivity of a plasma

franz.: conductivité électrique d'un plasma

Lit.: S. Chapman and T. G. Cowling, Mathematical Theory of Non-uniform Gases, Cambridge, Univ. Press, 1952. – R. S. Cohen, L. Spitzer Jr. and P. Mcr. Rontley, Phys. Rev. 80, 230, 1950. – L. Spitzer Jr. and R. Hären, Phys. Rev. 89, 977, 1953. – L. Spitzer Jr., Physics of Fully Ionized Gases, Interscience Publ., New York, 1956.

Leitisotope. Isotope, welche durch Zusatz zum natürlichen Isotopengemisch eines Elementes dieses „markieren“ und damit die *Leitisotopenmethode anzuwenden gestatten.

Man unterscheidet stabile (nichtradioaktive) und radioaktive L. Die ersteren müssen meist durch Untersuchung im Massenspektrographen nachgewiesen werden. Unter ihnen hat eine besondere Bedeutung der schwere Wasserstoff $^{2}_{1}H$ erlangt, daneben auch das Kohlenstoffisotop $^{13}_{6}C$ und andere.

Die radioaktiven L. (Radioindikatoren) haben den großen Vorteil ihrer einfachen Nachweisbarkeit mittels ihrer Strahlung. Ihre Halbwertszeit darf nicht zu kurz sein, damit nicht ein zu großer Teil der Substanz während des beobachteten Vorgangs (der sich bei bestimmten Untersuchungen unter Umständen über Monate hinzieht) zerfällt. Andererseits soll sie aus Gründen des Strahlenschutzes oft nicht unnötig groß sein. Eine kleine willkürliche Auswahl der praktisch angewandten Isotope ist:

Indikatorsubstanz		Halbwertszeit
Tritium	$^{3}_{1}H$	12 Jahre
Radiokohlenstoff	$^{11}_{6}C$	20,4 Minuten (für die meisten Zwecke zu kurz)
	$^{14}_{6}C$	5600 Jahre
Radionatrium	$^{24}_{11}Na$	14,8 Stunden
Radiophosphor	$^{32}_{15}P$	14,3 Tage
Radiokupfer	$^{64}_{29}Cu$	12,9 Stunden

Im übrigen s. Isotopentabelle.

Beispiel: Ausmessung einer Flußströmung. – Beim Gebrauch des Wortes L. ist meist an radioaktive L. gedacht. [1]

engl.: radioactive tracers, labeling isotopes

franz.: isotopes traceurs

Lit.: G. Hevesy, Radioactive Indicators, Interscience Publishers, New York u. London, 1948.

Leitisotopenmethode

Leitisotopenmethode. Mischt man einem Element in einem geringen Prozentsatz ein (meist radioaktives) Isotop bei, welches in seinem natürlichen Isotopengemisch nicht vorhanden ist, so macht dieses Isotop anteilmäßig alle chemischen Prozesse mit, welchen das Element unterworfen wird, da die Isotope eines Ele-

ments sich in ihrem chemischen Verhalten praktisch nicht voneinander unterscheiden. Auch für die meisten physikalischen Vorgänge, wie etwa die Diffusion, gilt dies weitgehend. Da man nun nach verschiedenen physikalischen Methoden das zugesetzte Isotop erkennen kann, läßt sich mit seiner Hilfe genau bestimmen, welche Vorgänge sich mit dem „markierten“ Element abgespielt haben, und zwar unabhängig davon, ob dasselbe Element (unmarkiert) auch sonst noch vorhanden ist. Beispielsweise läßt sich durch Einbau eines radioaktiven Kohlenstoffisotops in ein synthetisches Fett bei Verfütterung dieses Fetts an ein Lebewesen das Schicksal der Fettsäure im Organismus des Lebewesens genau verfolgen, da sich die radioaktiv „markierten“ Fettsäuremoleküle stets eindeutig von anderen, schon vorher im Organismus vorhandenen, unterscheiden lassen. Diese Methode nennt man L. und die zur Markierung eines Elementes beigemischten Isotope Leitisotope. Daneben ist auch noch die Bezeichnung Indikatormethode und Indikator im Gebrauch.

Die Bedingung der leichten Erkennbarkeit des zugesetzten Isotops wird am einfachsten erfüllt durch radioaktive Zusatzisotope (Radioindikatoren), die sich auch in kleinsten, völlig unwägbaren Spuren durch ihre Strahlung verraten, wodurch ihre Feststellung ohne Entnahme von Stoffproben (die z. B. in einem lebenden Organismus nicht immer möglich ist) leicht gelingt. Daneben werden jedoch vielfach auch nichtradioaktive *Indikatorsubstanzen verwendet, die sich zwar wesentlich mühsamer, etwa durch Untersuchung im *Massenspektrographen, aber ebenfalls sicher und eindeutig feststellen lassen.

Die Anwendungsgebiete der L. sind außerordentlich vielseitig und ständig im Wachsen begriffen. Für die Verteilung gelöster Stoffe auf verschiedene Lösungsmittel, für Diffusions- und Selbstdiffusionsvorgänge, für metallurgische Prozesse und Strukturuntersuchungen läßt sich die L. mit Vorteil heranziehen. In der Chemie gestattet sie, chemische Vorgänge aller Art zu verfolgen, besonders solche, bei denen sonst nicht nachweisbare Spuren irgendeiner Verbindung entstehen, sowie Austauschreaktionen, denen auf anderem Wege

kaum beizukommen ist. Biologie und Medizin haben aus der L. den größten Nutzen gezogen, da die Wanderung von Nahrungsmitteln und Medikamenten im lebenden Organismus verfolgt, Atmung und Assimilation untersucht und alle Arten von Stoffwechselvorgängen erforscht werden können.

Man unterscheidet zwei Arbeitsverfahren der L. Das analytische Verfahren arbeitet mit der gleichen spezifischen Aktivität im gesamten untersuchten System. Beispiel: Untersuchungen der Löslichkeit von Bleisulfid durch Paneth und Hevesy aus dem Jahre 1913 durch Verwendung radioaktiv markierten Bleisulfids und Messung der spezifischen Aktivität des Lösungsmittels.

Beim kinetischen Verfahren werden nur Teile des untersuchten Systems markiert. Deshalb kann man mit diesem Verfahren die innere Kinetik des betreffenden Elementes oder Stoffes untersuchen. So hat z. B. Hevesy 1913 den Ionenaustausch zwischen einem Bleiblech und der Lösung untersucht, indem er nur einen Austauschpartner radioaktiv markierte. S. a. Markierung, radioaktive. [1, 16]

engl.: tracer method

franz.: méthode des atomes traceurs

Lit.: W. Riezler, Kernphysik, 6. Aufl., Oldenbourg, München, 1958. – E. Broda und T. Schönfeld, Radiochemische Methoden der Mikrochemie, Springer, Wien, 1955.

Leitung. Bei elektrischen L. zu Meßeinrichtungen im Reaktor (Thermoelemente) ist die strahlungs- und wärmebeständige Isolierung ein Sonderproblem. Im Rohrleitungsbau liegen die Anforderungen bezüglich Fördervolumen, Dichtigkeit, Korrosionsbeständigkeit meist außerhalb der herkömmlichen Entwicklung. [8]

engl.: duct *franz.: conduite, canalisation*

Leitungsventile. An diese an sich herkömmlichen Konstruktionselemente werden in der Reaktortechnik ungewöhnliche Anforderungen gestellt. Bei radioaktiven Medien sollen die Armaturen völlig dicht sein, andererseits sind die meisten üblichen Dichtungsstoffe nicht strahlungsbeständig. Man verwendet daher Sperrflüssigkeiten zur Abdichtung und hydraulische oder völlig gekapselte Antriebe. [8]

engl.: duct valve *franz.: vanne*

Leptonen, zusammenfassende Bezeichnung für die „leichten" Elementarteilchen. Zu den L. gehören nach bisherigem Brauch nur Elektron und Positron, evtl. Neutrino und Antineutrino. Der Ausdruck hat nur Sinn im Rahmen einer Systematik der Elementarteilchen, die bisher noch nicht in jeder Weise befriedigend gelungen ist. In mancher Hinsicht erscheint es zweckmäßig, das μ-Meson einzubeziehen. [1, 7]
engl.: leptons *franz.: leptons*

LET, Abk. für linear energy transfer, svw. Energieabnahme je Längeneinheit längs der Bahn eines ionisierenden Teilchens. [28]

Letaldosis, tödliche Dosis (LD). Mittlere L. (LD_{50}) ist die Dosis, bei der 50 % der Individuen sterben. [28]
engl.: lethal dose *franz.: dose létale*

Letalmutation, Mutation, deren Auftreten u. U. schon in heterozygotem Zustand (in einem Chromosom) für die sie enthaltende Zelle tödlich ist. [28]
engl.: lethal mutation
franz.: mutation létale

Lethargie, s. Nachtrag.

Letztstoß-Korrektur, s. Erststoß-Korrektur.
engl.: last collision correction
franz.: correction de dernier choc,
c. de dernière collision

Leuchtelektron. Bei Anregung eines Atoms wird meist nur e i n Elektron auf einen höheren Quantenzustand gehoben. Da durch Rückkehr dieses Elektrons in den Grundzustand (oder auf andere niedrigere Zustände) die Lichtaussendung des Atoms zustande kommt, wird es als L. bezeichnet. Besonders klar tritt das L. bei den Alkali-Atomen zutage, welche überhaupt nur e i n Elektron außerhalb der abgeschlossenen Schalen besitzen. Bei Atomen mit mehreren Außenelektronen kommt auch Mehrfachanregung vor. [1]
engl.: emitting electron
franz.: électron excité, électron de fluorescence

Leuchtnukleon. Ähnlich wie beim Leuchtelektron kann man auch im Atomkern von einem L. sprechen, das bei der Kernanregung für den angeregten Zustand verantwortlich ist. Wiederum parallel zur Atomhülle bestimmen die Quantenzahlen des L. weitgehend die

Eigenschaften des Kerns. Darauf ist das *Schalenmodell der Atomkerne aufgebaut. [7]
engl.: emitting nucleon *franz.: nucléon excité*

Leuchtschirm, s. Barium-Platinzyanür-Schirm, Fluoreszenzschirm.

Leuchtstoff-Dosimeter, eine Anordnung, die aus einem Leuchtstoff, einem Lichtleiter und einem Elektronenvervielfacher besteht. Besondere Vorteile sind die hohe Empfindlichkeit und das kleine Volumen des Leuchtstoffes (= Meßvolumen). Daher sind diese Geräte besonders geeignet zur Ausmessung von Präparaten und zur Messung an Oberflächen. Durch geeignete Wahl des Leuchtstoffes (z. B. durch ein Leuchtstoff-Gemisch) lassen sich Stoffe verschiedener Äquivalenz herstellen, z. B. luft- oder gewebeäquivalente Stoffe. [26]

Leukämie. Mit L. bezeichnet man die Überproduktion von weißen Blutzellen, die das Blut überschwemmen. Gleichzeitig entstehen Wucherungen in blutbildenden, aber auch in anderen Organen (Leber, Bindegewebe etc.) des Körpers. L. tritt häufig nach chronischer Strahlenbelastung mit kleinen Strahlendosen auf (amerikan. Radiologen zeigen neunmal höhere L.-Rate auf als nichtradiologisch tätige Ärzte). Latenzzeit: ca. sechs Jahre. [28]
engl.: leucemia
franz.: leucémie

Leukopenie. Mit L. bezeichnet man die Verminderung der weißen Blutkörperchen z. B. nach Bestrahlung, die häufig eine Lymphopenie (Verminderung der Lymphozyten) bedingt. S. Blutbild. [28]
engl.: leukopenia
franz.: leucopénie

Leukozyt, weißes Blutkörperchen, s. Blutbild.
engl.: leucozyte
franz.: leucocyte

Leukozytose ist die Vermehrung der weißen Blutkörperchen im peripheren Blut als Folge einer Infektion oder auch Folgereaktion einer Strahleneinwirkung. L. liegt vor bei Überschreitung von 8000 weißen Blutkörperchen im mm^3 Blut. [28]
engl.: leucozytosis
franz.: leucocytose

Lichtbogen-Schneid-Verfahren wird zur Aufschlitzung (Aufschneidung) von Aluminium- und Edelstahlhülsen von Brennstoffelementen angewandt. Die metallischen Brennstoffe und ihre Umhüllungen dienen dabei als die eine Elektrode, gekühlte Kupfer- oder Messing-Stifte, die man entlang der Elemente führt, als die Gegenelektrode. Zwischen beiden brennt man einen Lichtbogen. An der Stelle der Bogenentladung schmilzt das Umhüllungsmaterial und hebt sich vom darunterbefindlichen Uran oder Uranoxyd ab. Diese Methode ist nur für Brennstoffelementumhüllungen anwendbar, die nicht mittels eines Lotes mit dem Uran metallisch verbunden sind. [22]
engl.: discharge cutting
franz.: méthode de séparation par arc électrique

lichtelektrischer Effekt, s. Photoeffekt.
engl.: photoelectric effect
franz.: effet photo-électrique

Lichtleiter. Bei Photovervielfachern kann die Leuchtsubstanz oft nicht in unmittelbaren optischen Kontakt mit der Photokathode gebracht werden. Magnetfelder, wie sie etwa in einem Betaspektrometer notwendig sind, können verzerrend auf die Fokusierung des Vervielfachers einwirken. Man bringt dann den Vervielfacher in einige Entfernung und stellt nur den Szintillator im Gerät selber auf. Das Leuchten kann durch einfache optische Abbildung mit Linsen und Spiegeln auf die Photokathode übertragen werden. Mechanisch einfacher und meist ebenso wirkungsvoll ist die Anwendung von L. Man kann dazu entweder ein innen verspiegeltes Rohr benutzen, an dessen einem Ende der Kristall und an dessen anderem Ende die Photokathode liegt. Gekrümmte Leitungen sind möglich. Eine andere Ausführungsform des L. ist das Arbeiten mit Totalreflexion in gut durchsichtigen Substanzen. Zum Beispiel sind Quarzstäbe geeignet. Doch trifft ihre Bearbeitung auf Schwierigkeiten. Am häufigsten werden Plexiglas, Polystyrol und andere Kunststoffe benutzt, die eine hohe optische Durchlässigkeit aufweisen. Stäbe aus derartigem Material werden sorgfältig poliert und evtl. versilbert. Bedampfung mit Aluminium im Vakuumofen soll besonders gute Erfolge

erzielen. Man kann ohne wesentliche Verluste Längen von einigen Metern benutzen. Nur allzu kleine Krümmungsradien bringen Verluste. Auch konusförmige Lichtleiter werden als Übergang von sehr großen Kristallen oder Gefäßen mit fluoreszierenden Lösungen zu räumlich kleinen Photokathoden benutzt. Wird der Photovervielfacher zur Vermeidung von thermischer Emission an der Photokathode in flüssiger Luft betrieben, so bildet eine Lichtleitung oft ein willkommenes experimentelles Hilfsmittel. [6]

engl.: light pipe, light line

franz.: conducteur de lumière, canal optique

Lit.: Timmerhaus, Giller, Duffield u. Drickamer, Nucleonics 6, No. 6, 37, 1950.

Lichtquant, s. Photon.

engl.: photon *franz.: quantum de lumière, photon*

Lichtzähler. Beim L. löst das Licht aus einer lichtelektrisch-empfindlichen Kathode Photoelektronen aus. Der Vorteil besteht darin, daß jedes an der Kathode ausgelöste und in das Zählrohrvolumen gelangende Elektron einen Impuls auslöst und deswegen einzeln registrierbar ist. Höchste gemessene Empfindlichkeit: 12 Quanten/cm^2/s, entsprechend etwa 10^{-10} Erg/cm^2/s. Im UV-Licht sind bei geeigneten Kathoden (z. B. aus Al, Cd, Mg, Zn, oder Fe) Quantenausbeuten bis 10^{-3} Elektronen pro Quant erreichbar. Die Quantenausbeute steigt von einem materialbedingten Schwellwert zu kürzeren Wellenlängen zunächst sehr rasch an.
Auch mit nichtmetallischen Kathoden, z. B. mit aktiviertem Jod, wurden hohe Empfindlichkeiten erzielt. [6]

engl.: photon/counter

franz.: compteur photo-électrique

Lit.: B. Rajewsky, Phys. Z. 32, 121 (1931). – Derselbe, Ann. Phys. V, 20, 13 (1934). – Locher, Phys. Rev. 42, 525 (1932). – H. Neuert, ATM V, 422–424.

Limonit, Brauneisen, ist ein Mineral der Zusammensetzung $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$. L. ist das verbreitetste Eisenerz, es enthält bis zu 60 % Eisen. [26]

engl.: limonite *franz.: limonite*

Lindemann-Elektrometer, s. Nachtrag.

Linearbeschleuniger, s. Beschleuniger, linearer.

Linearverstärker, s. Proportionalverstärker.

engl.: linear amplifier *franz.: amplificateur linéaire*

Linienbreite

Linienbreite ist primär in der Spektroskopie die Breite einer Spektrallinie. Sie wird meist in der Frequenz- oder Wellenzahl-Skala als *Halbwertsbreite definiert. Auch für das einzelne, unbewegte Atom sind die Energieniveaus (außer dem Grundzustand) und damit auch die Spektrallinien nicht völlig scharf. Infolge der Unschärferelation bedingt vielmehr die endliche Lebensdauer der angeregten Niveaus von ca. 10^{-8} s bei der Atomhülle und 10^{-14} s bei den Atomkernen eine Energieunschärfe der Größenordnung 10^{-7} bzw. 10^{-1} eV. Die hierdurch verursachte Linienunschärfe wird als „natürliche L." bezeichnet. In der wirklichen Materie tritt dazu stets infolge der Bewegung der Atome und infolge ihrer Wechselwirkung eine größere oder geringere *Linienverbreiterung hinzu.
Im übertragenen Sinne bezeichnet man als Linie jede irgendwie singuläre Änderung einer Verteilung. Bei den Atomkernen spricht man insbesondere von *Resonanzlinien. Auch diesen Linien kommt eine endliche Breite zu, die sich aus der natürlichen L. und der *Dopplerverbreiterung zusammensetzt. [1, 7]
engl.: line width *franz.: largeur de raie*

Linienintensität. Die Intensität einer Spektrallinie ist proportional dem Quadrat der Amplitude der ihr zugehörigen Feldstärke. Sie hängt damit von zwei Faktoren ab, einmal der Anzahl der Atome, die sich im Ausgangs-Energieniveau der betreffenden Linie befinden (abhängig von den Anregungsbedingungen) und andererseits von der Übergangswahrscheinlichkeit, welche für den für die betreffende Linie maßgebenden Übergang besteht, multipliziert noch mit der Energie $h\nu$ des einzelnen Strahlungsquants. Die beiden Faktoren lassen sich trennen, wenn man die L. von Linien vergleicht, welche Übergängen vom selben Ausgangsniveau zu verschiedenen Endniveaus entsprechen, da bei diesen allen der erste Faktor derselbe ist. Die L. solcher Linien verhalten sich daher direkt wie die mit $h\nu$ multiplizierten Übergangswahrscheinlichkeiten, welche sich als Quadrate der Beträge der „Übergangsamplituden" oder Matrixelemente aus der Quantenmechanik berechnen lassen. [1]
engl.: line intensity *franz.: intensité d'une raie*

Linienverbreiterung bezeichnet das Auftreten benachbarter Frequenzen über die natürliche *Linienbreite hinaus. Die wichtigste Ursache ist der Doppler-Effekt. Liegt dieser vor, spricht man von *Doppler-Verbreiterung. Bei Gasen kommt noch eine gegenseitige Beeinflussung der Atome oder Moleküle hinzu, die um so geringer ist, je weiter die Moleküle durchschnittlich voneinander entfernt sind und je seltener sie zusammenstoßen. Sie steigt also mit wachsendem Gasdruck und heißt daher Druckverbreiterung oder auch Stoßverbreiterung. [7]
engl.: line broadening
franz.: élargissement des lignes

Liouville-Gleichung. Die L. G. ist der Ausdruck des *Liouvilleschen Satzes und gilt als Fundamentalgleichung der statistischen Mechanik und kinetischen Gastheorie. Ist $f^{(N)}$ die *Wahrscheinlichkeitsdichte im 6 N-dimensionalen Phasenraum (Γ-Raum), wobei N die Gesamtzahl der Phasenpunkte ist,

$$f^{(N)} = f^{(N)}(\mathfrak{r}_1 \ldots \mathfrak{r}_N, \mathfrak{p}_1 \ldots \mathfrak{p}_N, t),$$

mit den Ortsvektoren $\mathfrak{r}_k$, den Impulsen $\mathfrak{p}_k$ und der Zeit t, dann lautet die L.-G.

$$\frac{\mathrm{D}f^{(N)}}{\mathrm{D}t} = \frac{\partial f^{(N)}}{\partial t} + [H, f^{(N)}] = \frac{\partial f^{(N)}}{\partial t} + \sum_{k=1}^{N} \left(\frac{\partial H}{\partial \mathfrak{p}_k} \cdot \frac{\partial f^{(N)}}{\partial \mathfrak{r}_k} - \frac{\partial H}{\partial \mathfrak{r}_k} \cdot \frac{\partial f^{(N)}}{\partial \mathfrak{p}_k} \right) = 0 .$$

$\mathrm{D}/\mathrm{D}t$ wird als Stokes-Operator bezeichnet, die $\mathfrak{r}_k$ und $\mathfrak{p}_k$ vertreten die generalisierten Koordinaten q, q und $[H, f]$ sind die Poisson-Klammern. Im Falle von ν inneren Freiheitsgraden mit Descartesschen Koordinaten $\vec{\eta}_i$, $\vec{\zeta}_i$ folgt die generalisierte L.-G. zu

$$\frac{\mathfrak{D}f^{(N,\nu)}}{\mathfrak{D}t} = \frac{\partial f^{(N,\nu)}}{\partial t} + \sum_{k=1}^{N} \left(\frac{\partial H}{\partial \mathfrak{p}_k} \cdot \frac{\partial f^{(N,\nu)}}{\partial \mathfrak{r}_k} - \frac{\partial H}{\partial \mathfrak{r}_k} \cdot \frac{\partial f^{(N,\nu)}}{\partial \mathfrak{p}_k} \right) + \sum_{i=1}^{\nu} \left(\frac{\partial H}{\partial \vec{\eta}_i} \cdot \frac{\partial f^{(N,\nu)}}{\partial \vec{\zeta}_i} - \frac{\partial H}{\partial \vec{\zeta}_i} \cdot \frac{\partial f^{(N,\nu)}}{\partial \vec{\eta}_i} \right) = 0 ,$$

wobei nun $\mathfrak{D}/\mathfrak{D}t$ als ein generalisierter Stokes-Operator angesehen werden kann. S. a. Transportgleichung, hydromagnetische Gleichungen. [27]

engl.: Liouville equation

franz.: équation de Liouville

Lit.: A. I. Khinchin, Mathematical Foundations of Statistical Mechanics, Dover Publ., New York, 1949. – J. G. Kirkwood, J. Chem. Phys. 14, 72 (1946), 18, 817 (1950). – J. O. Hirschfelder, C. F. Curtis, R. B. Bird, Molecular Theory of Gases and Liquids, Wiley, New York, 1954. – H. J. Kaeppeler and G. Baumann, Mitt. Forsch. Inst. f. Physik d. Strahlantriebe, Nr. 8, Stuttgart, 1956.

Liouvillescher Satz. Der L. S. ist grundlegend für die Statistik. Er besagt, daß für gleich große Zellen des Phasenraums die Wahrscheinlichkeit gleich groß ist, daß ein herausgegriffenes Teilchen in ihnen enthalten ist.

Dieser Satz ist beim geometrischen dreidimensionalen Raum unmittelbar evident.

Für den Phasenraum folgt er aus der Gültigkeit der Hamiltonschen Gleichungen der Mechanik:

$$\dot{p}_k = -\frac{\partial H}{\partial q_k}, \quad \dot{q}_k = \frac{\partial H}{\partial p_k}, \quad k = 1, 2, \ldots f \qquad (1)$$

(H Hamiltonsche Funktion, q_k allgemeine Ortskoordinaten, p_k dazu kanonisch konjugierte Impulse, f Zahl der Freiheitsgrade des Systems).

Ein Ortsvektor zu einem Bildpunkt im Phasenraum schreibt sich:

$$\mathfrak{r} = \Sigma\, q_k\, \mathfrak{e}_k + \Sigma\, p_k\, \mathfrak{e}'_k\,. \qquad (2)$$

Die Geschwindigkeit, mit der sich dieser Bildpunkt im Phasenraum bewegt, wird dargestellt durch den Vektor

$$\mathfrak{v} = \Sigma\, \dot{q}_k\, \mathfrak{e}_k + \Sigma\, \dot{p}_k\, \mathfrak{e}'_k\,. \qquad (3)$$

Das Verschwinden der Divergenz von $\mathfrak{v}$ ist das Charakteristikum für die Strömung einer inkompressiblen Flüssigkeit. Eine Anzahl von Teilchen (hier Bildpunkten), die zu einer gewissen Zeit ein gewisses Volumelement $\Delta\tau$ erfüllen, werden später ein anderes erfüllen. Wegen der Inkompressibilität muß dieses aber gleich groß sein. Es ist

$$\operatorname{div} \mathfrak{v} = \sum \frac{\partial}{\partial q_k}\, \dot{q}_k + \sum \frac{\partial}{\partial p_k}\, \dot{p}_k\,. \qquad (4)$$

Wegen (1) ist

$$\frac{\partial}{\partial q_k} \dot{q}_k = \frac{\partial}{\partial q_k} \frac{\partial H}{\partial p_k}$$
$$\frac{\partial}{\partial p_k} \dot{p}_k = - \frac{\partial}{\partial p_k} \frac{\partial H}{\partial q_k},$$

folglich

$$\frac{\partial}{\partial q_k} \dot{q}_k + \frac{\partial}{\partial p_k} \dot{p}_k = 0 .$$

Es heben sich also die Glieder in (4) paarweise auf; div $\mathfrak{v}$ verschwindet daher. Da mit der Zeit alle Phasenraumelemente von der Strömung erfaßt werden, kommt allen gleich großen Zellen dieselbe Apriori-Wahrscheinlichkeit zu. Damit ist der L. S. bewiesen. [7]
engl.: Liouville's theorem
franz.: théorème de Liouville
Lit.: Lehrbücher der Statistik und Gesamtdarstellungen der theoretischen Physik, z. B. G. Joos, Lehrbuch der theoretischen Physik, Ak. Verl. Ges., Leipzig, 1949.

Liquidustemperatur, s. Zustandsbild.
engl.: liquidus temperature
franz.: température du liquidus, température de mise en solution

Lithium (Li). Alkalimetall mit der Dichte 0,53; Ordnungszahl 3, Atomgewicht 6,9. Schmelzpunkt 186 °C, Siedepunkt 1370 °C. Makroskopischer Absorptionsquerschnitt für langsame Neutronen $\Sigma_a = 2{,}95$ cm^{-1}. Kristallstruktur: kubisch raumzentriert.
L. ist an der Luft unbeständig und reagiert heftig mit Wasser und sehr vielen anderen Stoffen.
^7Li hat einen kleinen Neutronenabsorptionsquerschnitt. Es wäre ein gutes Kühlmittel für Reaktoren mit Metallkühlung. Das daneben mit 7,4 % vorkommende ^6Li liefert bei Neutronenbeschuß Tritonen, eine Reaktion, die für Fusionsreaktoren interessant ist. [4, 7]
engl.: lithium *franz.: lithium*

Lithiumjodid, Kristall, der als *Szintillator zum Nachweis von Neutronen über die Reaktion $^6Li(n, \alpha)^3H$ brauchbar ist. Der Kristall wird durch Europium aktiviert. [6]
engl.: lithium iodide *franz.: iodure de lithium*

Livermore, Standort des mit Grundlagenforschung (einschl. Kernverschmelzung) befaßten L.-Laborato-

riums der amerikanischen Atomenergiekommission (USAEC). Betrieben durch die University of California als Teil des University of California Radiation Laboratory, Berkeley, Standort des LIWB-Reaktors. [24]

LMFR (Liquid Metal Fuel Reactor), Projekt eines thermischen Graphitreaktors, bei dem eine flüssige Spaltstoff-Metall-Legierung durch die Spaltzone und einen äußeren Wärmetauscher gepumpt wird. Als Trägermetall ist in allen bisher vorliegenden Projekten Wismut vorgesehen. Geplant sind ein LMFR mit 5,5 MW Wärmeleistung als Prototyp für 1959 (BNL) und ein Reaktor mit 25,4 MW elektrischer Leistung für 1960 (City of Orlando). Durch eine Gästegruppe am BNL wurde ein LMFR für 550 MW Wärmeleistung entworfen.

Dieser Reaktor-Typus hat folgende V o r t e i l e :

a) Hohe spezifische Leistung, hohe Betriebstemperaturen ohne Druck, hoher thermodynamischer Wirkungsgrad. Gute Wärmeübertragungseigenschaften.
b) Wismut ist mit Graphit, Wasser und Luft verträglich und kann variable Mengen von Spaltstoff aufnehmen.
c) Die Neutronenökonomie ist gut, so daß ein Umwandlungsfaktor von ≈ 1 erwartet wird. Spaltstoff kann während des Betriebes kontinuierlich zu- und abgeführt werden.
d) Die Spaltprodukte können während des Betriebes kontinuierlich abgezogen werden.

Diesen Vorteilen stehen folgende N a c h t e i l e gegenüber:

a) Wismut hat einen hohen Schmelzpunkt (271 °C) und hohe Dichte, so daß eine Hilfs-Heizung vorgesehen werden muß und große Pumpleistungen erforderlich sind. Wismut ist kostspielig.
b) Wismut korrodiert die meisten Metalle, muß sauerstofffrei gehalten werden. Außerdem entsteht durch Neutroneneinfang Po.
c) Große kritische Masse, großer Einsatz von Wismut und Spaltstoff im äußeren Kreislauf. Hohe Überschuß-Reaktivität.

d) Erosion und Massenverlagerung.

Abb. 1 zeigt das Fließschema, Abb. 2 den Wärmekreis-

LMFR (Liquid Metall Fuel Reactor)

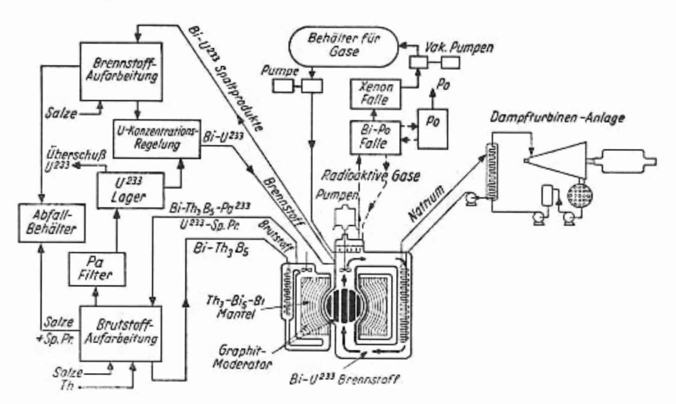


Abb. 1

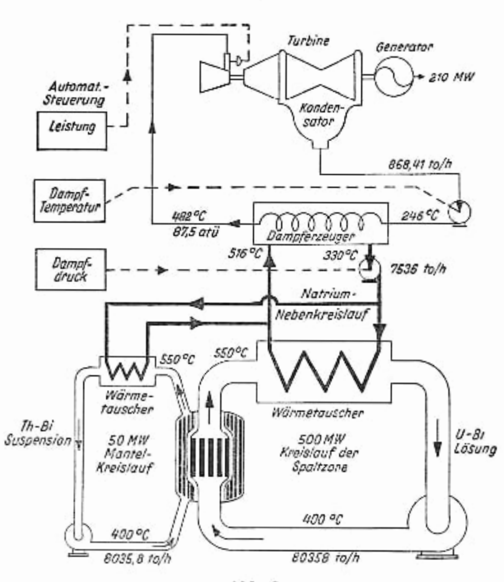


Abb. 2

LMFR (Liquid Metall Fuel Reactor)

lauf des 550 MW-Projekts. Daraus gehen die wichtigsten Daten hervor. Als Brennstoff dient eine Lösung von ^{233}U (zu 670 ppm) in Bi. Bei einer kritischen Masse von 9,1 kg ^{233}U ist ein Gesamteinsatz von 169 kg (bzw. 25 m³ Legierung) erforderlich. Der Tagesverbrauch beträgt 560 g ^{233}U bei 500 MW. Der thermische Fluß beträgt 10^{15} cm^{-2} s^{-1}. Im Brutkreislauf befinden sich 231 t einer Suspension von Th_3Bi_5 in Wismut. Zusätze von Mg und Zr sollen die Ablagerung des Metalls in den kühleren Teilen der Anlage verhindern.

Ein besonderes Problem beim LMFR ist das Reaktorgefäß (Abb. 3). Die Spaltzone besteht aus einem

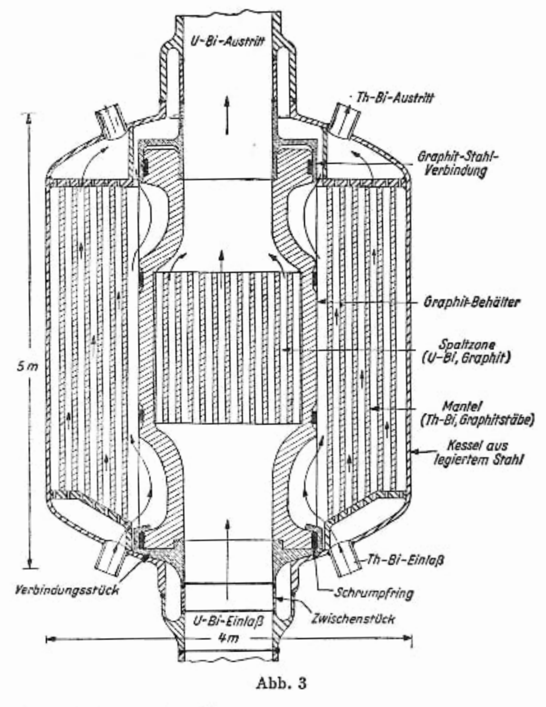


Abb. 3

durchbohrten Graphitzylinder (152,4 cm Durchmesser und Höhe). Die Bohrungen haben 5,1 cm Durchmesser

und 6,9 cm Abstand, so daß sich ein Verhältnis von 1 : 1 zwischen Graphit und Brennstoff ergibt. Der den Kern umgebende Graphitzylinder ist wie ein Faß aus einzelnen langen Blöcken zusammengesetzt, die durch metallische Schrumpfringe zusammengehalten werden. [13]

Lit.: Peaceful Uses of Atomic Energy, Band 3, S. 125, Genf, 1955.

Lochfraß, *Korrosion, die an einzelnen Stellen der Metalloberfläche beginnt und von dort aus in Form eines Loches oder eines Nadelstiches in das Innere des Werkstoffes eindringt. Häufig ist die Ursache des L.s auf *Lokalelemente zurückzuführen. [4]

engl.: localized corrosion *franz.: piqûre*

Lokalelement, ein galvanisches Element, das sich bildet, wenn in mikroskopischen Bereichen verschiedene, leitend miteinander verbundene Metalle in Berührung mit einem Elektrolyten kommen, etwa ein Grundmetall einerseits und andererseits ein oberflächlich anhaftendes Teilchen eines anderen Metalles, ein heterogener Einschluß, oder ein undichter galvanischer Überzug. Das unedlere Metall geht dabei in Lösung. Die Bildung von L.n ist die Ursache für zahlreiche Korrosionsschäden. Die Wirkung ist um so größer, je weiter die Metalle in der Spannungsreihe auseinander liegen. [4]

engl.: local element

franz.: force électromotrice (f.e.m.) locale

Loop. Ein Kühlmittelkreislauf zur experimentellen Bestimmung des Wärmeübergangs wird im amerikanischen Schrifttum als *thermal loop* bezeichnet. Es werden dabei in einer Meßstrecke ein nachgeahmtes Brennstoffelement meist elektrisch geheizt und die in einem Reaktor herrschenden Strömungsverhältnisse nachgebildet. Zum Teil liegt die Meßstrecke innerhalb eines Reaktors (*hot loop*), um den Einfluß der Strahlung auf Korrosion und chemische Stabilität des Kühlmittels untersuchen zu können. [5]

Los Alamos Scientific Laboratory, Forschungs- und Entwicklungszentrum der amerikanischen Atomenergiekommission (USAEC) in Los Alamos, New Mexico. Betrieben durch die University of California. Ursprünglich nur für Entwicklung von Atomwaffen – die

erste Atombombe der Welt wurde hier konstruiert und fertiggestellt –, neuerdings mit erweitertem Aufgabenbereich einschl. Reaktorentwicklung und Kernverschmelzung. Abk.: LASL. [24]

Loschmidt-Zahl, die Zahl der Moleküle in einem Mol (s. Grammolekül) irgendeines Stoffes, oder auch die Zahl der Atome in einem Grammatom irgendeines chemischen Elementes. Ihr Zahlenwert ist (in der physikalischen Skala; s. ME):

$$N_L = 6{,}025 \cdot 10^{23}\ \text{Moleküle/Mol}\,.$$

Aus ihr läßt sich die Zahl der Moleküle im Kubikzentimeter irgendeines (festen, flüssigen oder gasförmigen) Stoffes, die Avogadro-Zahl berechnen, wenn man sie mit der Dichte des Stoffes multipliziert und durch sein Molekulargewicht dividiert. Außerhalb des deutschen Sprachbereichs werden meist die L.-Z. und die Avogadro-Zahl gerade vertauscht definiert.
Die beiden genauesten Bestimmungsmethoden der L.-Z. sind heute diejenige über die Ermittlung des Atomabstandes in gewissen Kristallen mittels Röntgen-Strahlen, deren Wellenlänge absolut mit einem Strichgitter gemessen wird, und die Errechnung aus der elektrischen Elementarladung, gemessen nach der Methode von Millikan, und der Faraday-Konstanten. Die Ergebnisse beider Wege stimmen gut überein. Daneben gibt es noch eine große Anzahl anderer, jedoch weniger genauer Bestimmungsmethoden aus allen möglichen Gebieten der Physik. Historisch wurde die L.-Z. erstmals von Loschmidt 1865 aus den Beziehungen der kinetischen Gastheorie hergeleitet (damals auf 1 cm^3 im physikalischen Normzustand bezogen). [1]
engl.: Avogadro number
franz.: nombre d'Avogadro
Lit.: W. Finkelnburg, Atomphysik, 5./6. Aufl., Springer, Berlin, 1958.

Löschung der Zählrohrentladung, s. Zählrohr.
engl.: quenching
franz.: extinction

Lösen. Die als Laugung oder *Extraktion bezeichnete Entfernung von Uran aus dem Erz ist ein Lösevorgang. Um zu einer hohen Ausbeute zu kommen, muß eine große Oberfläche (s. Zerkleinern und Körnung)

geschaffen und es muß dafür gesorgt werden, daß das Konzentrationsgefälle zwischen Oberfläche und Lösung so groß wie möglich wird (intensive Flüssigkeitsbewegung durch *Rühren). Weiter wird die Löslichkeit durch Erhöhung der Sättigungskonzentration, die meist mit der Temperatur ansteigt, erhöht. Gleichzeitig sinkt durch Temperaturerhöhung die Viskosität, damit steigt die Turbulenz und mit ihr die Stoffübergangszahl. Die Konzentration von Lösungen wird meist als Prozentgehalt des gelösten Stoffes in der Lösung oder als Molenbruch angegeben. [2]

engl.: dissolving

franz.: dissolution

Lit.: Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, 3. Aufl., München-Berlin, 1951, Bd. 1: Chemischer Apparatebau und Verfahrenstechnik.

Löslichkeitslinien, s. Zustandsbild.

Lösung, feste, s. Mischkristall.

engl.: solid solution

franz.: solution solide

Löten, Verbinden zweier Metallteile durch ein Metall mit niedrigerem Schmelzpunkt, welches flüssig gemacht wird und sich sodann mit den zu verbindenden Metallteilen legiert. Die Oberflächen müssen vor dem L. mit Hilfe eines *Flußmittels sorgfältig gereinigt werden. Als niedrigschmelzende Weichlote kommen vor allem Zinn-Blei-Legierungen (Schmelzintervall 180° bis 230°) zur Verwendung. Hartlote mit einem Schmelzpunkt über 430° sind Kupferlegierungen (Messing, Neusilber). [4]

L. von Brennstoffelementen s. diese.

engl.: soldering (Weich-), brazing (Hartlöten)

franz.: soudure (Weich-), brasure (Hartlöten)

L-Schale, s. Atombau.

Luftaktivierung beruht auf der Aktivierung des in der Luft enthaltenen ^{40}Ar, s. Argonaktivierung. Die übrigen Bestandteile der Luft ergeben bei Neutronenbestrahlung keine radioaktiven Kerne, die für den Strahlenschutz beachtet werden müßten. [7]

engl.: air activation

franz.: activation de l'air

Luftäquivalent, die Schichtdicke Luft von Normaldichte, welche dieselbe Bremsung von Teilchen bewirkt

wie eine gegebene Schichtdicke einer gegebenen Substanz oder umgekehrt.

Durch das L. wird die Bremswirkung beliebiger Materie auf diejenige von Luft zurückgeführt. Bei festen Substanzen wird angegeben, welche Masse je cm^2 1 cm Luftweglänge äquivalent ist. Das L. einer bestimmten Schicht irgendeines Stoffes hängt jedoch nicht nur von diesem Stoff und seiner Schichtdicke ab, sondern auch von der Art und der Energie der gebremsten Teilchen. S. a. Bremsvermögen. [1]

engl.: air equivalent

franz.: équivalent-air, égal à celui de l'air

Luftdosis, auch Frei-Luft-Dosis, s. Dosis.

engl.: air dose

franz.: dose dans l'air

Luftionisationskammer, offene, ist eine offene *Ionisationskammer, in der der Ionisationsraum mit Luft gefüllt ist. [28]

engl.: open air ionization chamber

franz.: chambre d'ionisation à air libre

Luftmonitor, Nachweisgerät für Strahlung hinsichtlich der Konstanz des Strahlungsflusses, bei dem der Ionisationsraum mit Luft gefüllt ist. S. a. Ionisationskammer als Monitorgerät. [28]

engl.: air-monitor

franz.: contrôleur pour l'air
détecteur de la radioactiviste de l'air

Luftschauer, s. Schauer.

Luftüberwachung registriert die Aktivität des in der Luft schwebenden Staubes und kann zur Abgabe von Warnzeichen beim Überschreiten bestimmter Grenzen eingerichtet sein. Unmittelbare Messung erfordert meist sehr hohe Instrumentempfindlichkeit oder große Meßvolumina (s. Luftmonitor, Luftionisationskammer) und damit hohen Störpegel. Es wird daher meist eine Konzentrationsvorrichtung benützt. Diese besteht üblicherweise in Filtern, durch die größere Luftmengen gesaugt werden, oder in Auffängern (klebrigen Folien), die mechanisch und durch Veraschung auf kleines Volumen gebracht werden. [6]

engl.: air control, dust control

franz.: contrôle de l'air

Luftwändekammer, eine *Ionisationskammer, die so gebaut ist, daß das Wandmaterial die gleiche effektive Ordnungszahl wie Luft hat. Unter dieser Voraussetzung ist die Anzeige einer solchen Kammer der einer offenen Standardkammer proportional. Die Wandstärke muß dabei größer sein als die Reichweite der Sekundärelektronen. Geeignetes Material ist z. B. *Äërion. [17]
engl.: air equivalent ionization chamber
franz.: chambre d'ionisation équivalente à l'air

Lumnit ist ein Calcium-Aluminium-Zement. Siehe Zement. [26]
engl.: lumnite
franz.: lumnite

Lumnit-Colemanit-Beton besteht aus Lumnit-Zement, Colemanit und Baryt. Seine Dichte ist etwa 3,1 g/cm^3, seine Zusammensetzung in Gew.-%: 38,6 % Ba; 37 % O; 9 % S; 5,5 % Ca; 3 % Fe; 1,8 % Al; 1 % H; 0,9 % B; Rest: Mg, Na, Si, Mn, Tn. Siehe Schwerbeton. [26]
engl.: lumnite-colemanite concrete
franz.: béton lumnite-colémanite

Lumnit-Portland-Colemanit-Beton besteht aus Lumnit-Zement, Portland-Zement, Colemanit und Baryt. Seine Dichte ist etwa 3,1 g/cm^3, seine Zusammensetzung in Gew.-%: 38 % Ba; 37 % O; 9 % S; 7,7 % Ca; 1,9 % Fe; 1,5 % Si; 1,3 % Al; 1,1 % H; 1 % B; Rest: Mg, Na, Mn und Ti. S. Schwerbeton. [26]
engl.: lumnite-Portland-colemanit concrete
franz.: béton Portland-lumnite-colémanite

Lunker, Hohlraum im Inneren eines Gußstücks, vornehmlich herrührend von Schwindungserscheinungen oder freiwerdenden Gasen während des Erstarrungsvorganges. Zerstörungsfreie Prüfmethoden zur Feststellung von L.n beruhen auf der Durchstrahlung mit Gamma-Strahlen oder mit harten Röntgenstrahlen, oder auf der Anwendung von Ultraschall bzw. von elektromagnetischen Methoden. [4]
engl.: shrinkhole, cavity
franz.: retassure

Lunkerschild, ein Schild, dessen Material vollkommen regellos mit Lunkern durchsetzt ist. Dadurch wird die Abschirmwirkung herabgesetzt. [26]
engl.: Pebble shield
franz.: écran poreux, écran à remplissage grossier
Lit.: N. M. Smith, US AEC reports CNL-21 u. ORNL-710, 170, 1950.

Lutetium (Lu). *Lanthanidenelement der Ordnungszahl 71. Atomgewicht: 174,99. Dichte: 9,7. Einfangsquerschnitt für thermische Neutronen σ: 111 barn. Das natürlich vorkommende Lu besteht zu 2,6 % aus dem radioaktiven Isotop $^{176}_{71}$Lu, das eine Halbwertszeit von $3 \cdot 10^{10}$ a besitzt.

$$^{176}_{71}\mathrm{Lu} \xrightarrow[3 \cdot 10^{10}\,\mathrm{a}]{\beta^-} {}^{176}_{72}\mathrm{Hf}$$

Für Lu ist auch die Bezeichnung *Cassiopeium gebräuchlich. [3]
engl.: lutecium
franz.: lutécium

Lymphknoten sind Filterorgane für die aus den Gewebsspalten abfließende Gewebsflüssigkeit und gleichzeitig Bildungsstätten der Lymphozyten, ausgezeichnet durch eine große Strahlenempfindlichkeit. [28]
engl.: lymph nodes
franz.: follicules lymphoïdes

Lymphozyt, svw. weißes Blutkörperchen, s. Blutbild.
engl.: lymphocyte
franz.: lymphocyte

M

Mache-Einheit (ME), Einheit der Konzentration der Radium-Emanation in Luft oder in einer Lösung. 1 ME ist die Konzentration, bei der in 1 l Luft oder Lösung 10^{-3} Stat Radium-Emanation enthalten sind. Es ist

$$1\ \mathrm{ME} = 3{,}64\ \mathrm{Eman}\,. \qquad [1]$$

engl.: Mache unit
franz.: unité Mache

magische Hände, s. Manipulator.

magische Zahlen nennt man die Neutronen- und Protonenzahlen derjenigen Kerne, deren Eigenschaften

(z. B. Bindungsenergie, magnetisches und Quadrupolmoment) aus der sonst herrschenden monotonen Reihe herausfallen. Es sind die Zahlen 2, 8, 20, 28, 40, 50, 82 und 126. Besonders stark ausgeprägt wird die Sonderstellung eines Kernes, wenn die Anzahl der Protonen u n d der Neutronen eine m. Z. ist (z. B. $^{4}_{2}He$, $^{16}_{8}O$). Die m. Z. können mit Hilfe des *Schalenmodells der Atomkerne gedeutet werden. [1, 7]
engl.: magic numbers
franz.: nombres magiques

Magnesium (Mg), Leichtmetall mit der Dichte 1,74; Ordnungszahl 12, Atomgewicht 24,3. Schmelzpunkt 650 °C, Siedepunkt 1110 °C. Absorptionsquerschnitt für thermische Neutronen $\Sigma_a = 0{,}0024\ cm^{-1}$. Kristallstruktur: hexagonal dichteste Kugelpackung.
Reines Mg ist silberweiß; es ist bei Raumtemperatur beständig gegen trockene Luft, reagiert aber bei höherer Temperatur mit den meisten Stoffen. Als Konstruktionswerkstoff findet reines Mg wenig Verwendung, dagegen sind die Legierungen mit Aluminium, Mangan und Zink wegen ihres geringen Gewichtes, den guten Verformungs- und Zerspanungseigenschaften und wegen ihrer guten Festigkeitseigenschaften von großer technischer Bedeutung. Wegen seines geringen Absorptionsvermögens für Neutronen kommt Mg als Konstruktionswerkstoff im Reaktorbau in Betracht [4]
engl.: magnesium *franz.: magnésium*

Magnesium-Zemente bestehen entweder aus Magnesiumoxychlorid oder aus Magnesiumoxysulfat. S. Zement. [26]
engl.: magnesium cements
franz.: ciment au magnésium

magnetoakustische Heizung, s. Nachtrag.

Magnetohydrodynamik. Die M. beschreibt die Strömungsvorgänge von *Plasmen oder Flüssigkeiten mit großer elektrischer *Leitfähigkeit in Anwesenheit innerer und äußerer magnetischer Felder und stellt somit ein Analogon zur Hydrodynamik und Gasdynamik dar. Jede hydrodynamische Bewegung eines Plasmas führt zum Auftreten induzierter elektrischer Felder und infolgedessen wegen der hohen elektrischen Leitfähigkeit zur Entstehung elektrischer Ströme. Diese erfahren im

äußeren Magnetfeld eine Kraftwirkung, welche den Bewegungsvorgang ändert. So kann z. B. eine sich in einem Plasma ausbreitende Stoßwelle durch ein solches äußeres Feld gebremst oder eine solche Stoßwelle erzeugt werden (s. *Pinch-Effekt). Es tritt also eine Kopplung zwischen mechanischen und elektrischen Kräften auf.

Die Grundgleichungen der M. sind die *hydromagnetischen Gleichungen zusammen mit den Maxwellschen Gleichungen der Elektrodynamik. Die theoretische M. beschäftigt sich mit speziellen Lösungen dieses Gleichungssystems. Eine solche spezielle Lösung ergibt z. B. die Alfvénschen oder hydromagnetischen *Wellen.

Die M. ist von Bedeutung für astrophysikalische Probleme und in neuerer Zeit besonders für Probleme im Zusammenhang mit thermischen *Fusionsprozessen. Insbesondere nutzt man die Gesetze der M. zur Aufheizung des Plasmas oberhalb 10^6 °K, sowie zur Halterung eines hocherhitzten Plasmas. [27]

engl.: magneto-hydrodynamics

franz.: magnétohydrodynamique

Lit.: T. G. Cowling, Magnetohydrodynamics, Interscience Publ., New York, 1957. – L. Spitzer, Jr., Physics of Fully Ionized Gases, Interscience Publ., New York, 1956. – H. C. van de Hulst and J. M. Burgers, Gas Dynamics of Cosmic Clouds, North Holland Publ. Co., Amsterdam, 1955.

Magneton, s. Bohrsches Magneton und Kernmagneton.

engl.: Bohr magneton

franz.: magnéton de Bohr

Magnetverstärker. Erreicht eine elektrische Leistungsverstärkung durch Ausnutzung der nichtlinearen Magnetisierungseigenschaften von Elektromagnetkernen, die mehrere Wicklungen tragen. Es gibt zahlreiche Schaltmöglichkeiten, meist mit zwei oder vier getrennten Kernen und Gleichrichterelementen. Die Zeitkonstanten sind meist kleiner als 10^{-3} s. Wegen des Fehlens von Verstärkerröhren und bewegter Teile ist der M. wenig störanfällig und wird gern zur Regelung von Motoren, z. B. bei Reaktorregelstäben, benutzt. [6]

engl.: magnetic amplifier

franz.: amplificateur magnétique

MAGNOX-Legierungen (Magnesium-Non-Oxidizing). In England entwickelte Magnesium-Legierung, bestehend aus 1 % Al, 0,1 % Ca, 0,05 % Be, Rest Mg. Sie wird bei den Reaktoren vom Calder-Hall-Typ als Material für die *Hülsen verwendet. Im Gegensatz zum reinen Magnesium kann man die M.-L. ohne nennenswerte Oxydation durch CO_2-Gas bis etwa 450 °C verwenden. [20]
engl.: magnox alloys
franz.: alliages Magnox

Majorana-Kraft heißt ein phänomenologischer Ansatz für die Kernkräfte nach dem Autor, der ihn vorschlug. Es handelt sich um eine Austauschkraft, die mit dem Austausch von Spin und Ladung verkoppelt ist. Eingehendere Darstellung unter Kernkraft und Austausch. [7]
engl.: Majorana force
franz.: force de Majorana

Malter-Effekt ist in Zählrohren manchmal eine Ursache für *Nachentladungen. Er tritt bei Zählrohren mit Leichtmetall-Kathoden (z. B. Al oder Mg), die für Betazähler oft angewandt werden, häufig auf. Auf solchen Kathoden bildet sich eine dünne gut isolierende Oberflächenschicht. Positive Ionen aus der Entladung lagern sich auf der dünnen Schicht an, und die so gebildeten elektrischen Doppelschichten können Elektronen spontan durch Feldemission in den Gasraum bringen. Dadurch werden neue Geigerimpulse eingeleitet. Abhilfe bringt ein dünner Überzug von Kupfer, Gold oder Edelmetallen auf das im Vakuum gereinigte Al. Die Erhöhung der Impulszahl an einer Zählvorrichtung nach intensiver kurzwelliger Bestrahlung oder Glimmentladung ist ein Zeichen für das Auftreten des M.-E. [6]
engl.: Malter effect
franz.: effet Malter

Mangan (Mn), Schwermetall mit der Dichte 7,4; Ordnungszahl 25, Atomgewicht 54,9, Schmelzpunkt 1245 °C, Siedepunkt 2150 °C. Absorptionsquerschnitt für thermische Neutronen $\Sigma_a = 1{,}01\ \text{cm}^{-1}$. Kristallstruktur: zwei komplizierte kubische Modifikationen mit 58 bzw. 20 Atomen in der Elementarzelle, eine

tetragonal flächenzentrierte Modifikation und eine kubisch flächenzentrierte Modifikation; Umwandlungspunkte bei 742, 1085 und 1142 °C.

Mn ist ein hartes und sprödes Metall, das aluminothermisch hergestellt wird. Es ist ein wichtiger Legierungsbestandteil von *Stählen, *Gußeisen und Leichtmetallegierungen.

Mn ist ein beliebter Indikator für thermische Neutronen. Das natürliche Mn besteht allein aus $^{55}_{25}$Mn. Mit einem thermischen Wirkungsquerschnitt von 13,4 barn geht ^{55}Mn in ^{56}Mn über, das ein β-Strahler von 2,58 h Halbwertszeit ist. Maximale Energie der β-Teilchen 2,88 MeV. [4, 7]

engl.: manganese *franz.: manganèse*

Manipulator, Gerät zur Handhabung radioaktiv strahlender Gegenstände unter Einschaltung eines schützenden Sicherheitsabstandes. Kennzeichnend für den M. und unterscheidend gegenüber Greifzangen, Fernpipetten usw. ist, daß mit ihm in mehr oder weniger vollkommener Weise Bewegungen ausgeführt werden können, die denen der menschlichen Hand oder einzelner Finger entsprechen.

Bei der einfachen Form des Kugel-M. ist ein Kugelgelenk in eine Strahlenschutzwand so eingesetzt, daß der M. in Längsrichtung beweglich und innerhalb eines kegelförmigen Raumes von etwa 60° Öffnungswinkel schwenkbar ist. Bewegungen quer zur Längsachse erfolgen dabei spiegelbildlich. Auf der Bedienungsseite befindet sich ein entsprechend geformtes Griffstück, auf der Arbeitsseite können verschiedene Finger, Zangen, Werkzeuge eingesetzt werden. Beobachtung durch Strahlenschutzfenster oder Umlenkspiegel.

Beim Parallel-M. (master-slave-M., magische Hände) ist eine vollständige Übereinstimmung der Bewegungen von Hand und Fingern am Griffstück und am Werkzeug hergestellt, wobei der Bewegungsmaßstab 1:1 und das Gefühl für die übertragenen Kräfte erhalten bleibt. Der P.-M. kann Abschirmungen beträchtlicher Wandstärke überbrücken, sein Arbeitsbereich erstreckt sich auf einen Raum von etwa 2 m^2 Grundfläche und 1 m Höhe. P.-M. mit größerem Arbeitsbereich, mit Bewegungsübertragung durch Hilfs-

kräfte (S e r v o - M.) und Bewegungsmaßstäben abweichend vom Verhältnis 1:1 sind in der Entwicklung.
Für die Bewegung schwerer Lasten und über größere Entfernungen dient der F a h r - M., der oft wie die Laufkatze eines Krans verfahrbar ist und entsprechend große Räume bestreichen kann. Der F.-M. arbeitet in jedem Fall mit Hilfskräften und wird von einem Bedienungspult aus gesteuert. Beobachtung direkt oder durch ein Strahlenschutzfenster oder durch Vermittlung eines Fernsehgerätes.
In einer anderen Bauart ist der F.-M. als frei bewegliches Fahrzeug ausgebildet, z. B. als Elektrokarren mit einem Ausleger, an dessen Ende der eigentliche M. arbeitet; er dient zum weiträumigen Transport stark strahlender Gegenstände. [10]
engl.: manipulator
franz.: manipulateur

Manometrie, volumetrische, Messung der Gasmenge, die bei bestimmten Reaktionen gebildet wird, z. B. Wasserstoffbestimmung bei der Radiolyse von Wasser. [18]
engl.: manometry
franz.: mesures volumétriques

Marcoule, industrielles Atomzentrum (Centre Industriel de Marcoule) des staatlichen französischen Atomenergiekommissariats (CEA) in Südfrankreich im Departement Gard, ca. 25 km von Avignon. Standort der ersten französischen Leistungsreaktoren für Plutoniumerzeugung und Elektrizitätsgewinnung (G-1, G-2, G-3) sowie der ersten Plutonium-Extraktions- und Fabrikationsanlage. [24]

Mark I, II, III, s. Nachtrag.

Mark A, B, s. Nachtrag.

Markierung, Kenntlichmachung einer Substanz durch den Einbau gut nachweisbarer meist radioaktiver Atome. Markierte Substanzen sind im Verlauf chemischer oder biologischer Prozesse leicht zu verfolgen.
Die verwendete Markierungssubstanz muß sich in dem betreffenden Stoff gleichmäßig verteilen und sich an den betrachteten Vorgängen in gleicher Weise wie der markierte Stoff beteiligen. Daher wird man meist ein

chemisches Element mit einem radioaktiven Isotop desselben Elementes markieren. Abweichungen im Verhalten der verschiedenen radioaktiven Isotope faßt man unter der Bezeichnung Isotopieeffekte zusammen. Sie sind im allgemeinen zu vernachlässigen. Eine radioaktive M. erfolgt über Lösung, Vermischen, Schmelzen, Ionenaustausch, galvanisches Abscheiden, aber auch durch Bestrahlung, z. B. im Atomreaktor, bei der ein Teil der Atome eines Elements aktiviert wird. Die Grenzen der radioaktiven M. sind gegeben durch Isotopieeffekte, Veränderungen von Stoffeigenschaften durch Strahlung, durch die Strahlengefährdung und durch die Nachweisempfindlichkeit der jeweiligen Meßanordnung. Diese Grenzen sind jedoch bei den großen Variationsmöglichkeiten in der Regel nicht spürbar (s. a. Leitisotope, Leitisotopenmethode). [3, 16]
engl.: labeling *franz.: marquage*

Markierungssynthese (s. a. Markierung). Synthese eines radioaktiv markierten Moleküls. [3]
engl.: labeling synthesis
franz.: synthèse avec molécules marquées

Martensit, *metastabiles Gefüge von kohlenstoffhaltigem Eisen, das man beim Härten von *Stahl durch Abschrecken aus der Gamma-Phase erhält. Gegenüber der kubischen Struktur der stabilen Modifikationen hat M. eine schwach tetragonale Struktur, welche beim Anlassen in eine kubische Struktur übergeht. Beim Weichglühen des Stahls wandelt sich der M. in *Perlit, ein heterogenes Gefüge aus Alpha-Eisen und Eisenkarbid, um. [4]
engl.: martensite *franz.: martensite*

Masse, Eigenschaft der Materie. Feststellbar als:
1. T r ä g e M.: meßbar durch den Widerstand, den jeder materielle Körper einer Veränderung seines Bewegungszustandes entgegensetzt. Maßeinheit im CGS-System ist das Gramm (g), ursprünglich definiert als die Masse eines Kubikzentimeters Wasser bei 4 °C und 1 atm Druck, heute durch $^1/_{1000}$ des in Paris aufbewahrten Iridumzylinders (dem gegenüber diese Wassermenge nur eine Masse von 0,999972 g hat). S. a. Ruhmasse, Massenveränderlichkeit.
2. S c h w e r e M.: Quelle und Angriffspunkt des

Schwerefeldes, jener Anziehungskraft, die zwischen allen materiellen Körpern besteht (Massenanziehung) und sich auf der Erde als Gewicht (Schwere) des Körpers äußert.
In der allgemeinen Relativitätstheorie sind träge und schwere M. trotz völliger logischer Unabhängigkeit der beiden Begriffe gleich gesetzt worden. Da ferner jeder Energie eine bestimmte Masse entspricht, besitzt auch die Lichtstrahlung Masse. S. Masse-Energie-Äquivalent. [7, 24]
engl.: mass
franz.: masse

Masse, kritische, ist diejenige Menge an spaltbarer Substanz (Uran 235), die eine gewählte Anordnung von Uran und Moderator eben *kritisch macht. Von der k. M. ist die Betriebsmasse zu unterscheiden, die größer ist, und u. a. dem Abbrand des Urans im Laufe der Betriebszeit und der *Reaktorvergiftung Rechnung trägt. [7]
engl.: critical mass
franz.: masse critique

Masse-Energie-Beziehung. Die Einsteinsche M. sagt aus, daß jede Masse m gleichzeitig eine Energie von der Größe $E = m\,c^2$ darstellt (c Lichtgeschwindigkeit), jede Energie E also auch eine Masse $m = E/c^2$ besitzt. Speziell ist 1 g Masse äquivalent der Energie

$$9 \cdot 10^{20}\,\text{erg} = 9 \cdot 10^{13}\,\text{J} = 9{,}17 \cdot 10^{12}\,\text{mkp} = 2{,}15 \cdot 10^{10}\,\text{kcal}. \qquad [1]$$

engl.: mass-energy relation
franz.: relation masse-énergie

Massenabsorptionskoeffizient, der lineare *Absorptionskoeffizient μ [cm^{-1}] geteilt durch die Dichte des Absorbers ϱ [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$]. Der M. wird angegeben in $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$. Er wird mit μ_M oder μ/ϱ bezeichnet. [17]
engl.: mass absorption coeffizient
franz.: coefficient d'absorption massique

Massendefekt. Die Tatsache, daß alle zusammengesetzten Kerne eine etwas geringere Ruhmasse haben als die Summe der Ruhmassen der Protonen und Neutronen, aus denen sie aufgebaut sind, nennt man M. Er

wird meist in mME angegeben. Zum Beispiel ist beim Deuteron ${}^{2}_{1}H$:

$$\begin{array}{rl} m_P &= 1{,}00759 \text{ ME} \\ m_N &= 1{,}00898 \text{ ME} \\ \hline m_P + m_N &= 2{,}01657 \text{ ME} \\ m_D &= 2{,}01419 \text{ ME} \\ \hline \text{Massendefekt } \Delta m &= 2{,}38 \text{ mME} \end{array}$$

Der M. rührt daher, daß beim Zusammentreten der Nukleonen zum Kern infolge der frei werdenden *Bindungsenergie eine Energieverminderung des Systems eintritt, welche nach der Äquivalenz von Masse und Energie einer Massenabnahme entspricht, die gleich der Bindungsenergie, dividiert durch das Quadrat der Lichtgeschwindigkeit, ist.

In der Reihe der Kerne nimmt mit fortschreitender Ordnungszahl der M. dauernd zu, im einzelnen ziemlich unregelmäßig, durchschnittlich aber um etwa 8 mME für jedes hinzutretende Nukleon (der Wert 2,38 für das Deuteron ist abnorm niedrig). Beim Uran erreicht der M. schon fast zwei volle Kernmasseneinheiten; die 238 Nukleonen des ${}^{238}_{92}U$ würden, einfach addiert, nahezu das Atomgewicht 240 ergeben. Bei Kernprozessen gibt der Vergleich der Massendefekte vor und nach der Reaktion die Energietönung des Kernprozesses, wenn man sie mit c^2 multipliziert. [1]

engl.: mass defect

franz.: défaut de masse

Lit.: W. Riezler, Kernphysik, 6. Aufl., Oldenbourg, München, 1958.

Masseneinheit (ME), s. ME.

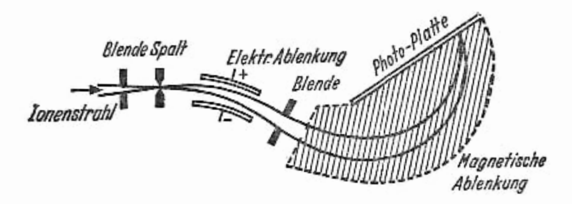
Massenfilter zur Trennung von Isotopen. In einem hochfrequenten Vierpolfeld, dessen Elektroden hyperbolischen Querschnitt haben, werden in Abhängigkeit von der Frequenz des Wechselfeldes Ionen einer bestimmten Masse in der Achse fokussiert, während alle anderen Ionen aus dem Feld herauslaufen. Die Fokussierung ist – in gewissen Grenzen – unabhängig von der kinetischen Energie der Ionen und vom Ort ihrer Entstehung. [14]

engl.: mass filter

franz.: filtre de masses

Massenskala. Man unterscheidet die physikalische und die chemische M. In der Atom- und Kernphysik wird fast ausschließlich die physikalische M. benutzt, die auf der (physikalischen) atomaren *Masseneinheit aufbaut. Chemische Atomgewichte dagegen werden in der chemischen M. angegeben. Die physikalischen Atomgewichte sind um 0,27 ‰ größer als die chemischen. [1]
engl.: mass scale
franz.: échelle des masses

Massenspektrograph, ein Apparat zur Aufnahme eines *Massenspektrums, d. h. zur Analyse eines Ionenstrahls auf Bestandteile verschiedener Masse (z. B. verschiedener Isotope eines Elementes) und genauen Bestimmung der einzelnen Massenwerte.
Der Vorläufer des M.n war die Kanalstrahlanalyse, vor allem nach der Parabelmethode. Die ersten richtigen M.n baute Aston ab 1919. Sie beruhen auf der elektrischen und magnetischen Ablenkung des Ionenstrahls bei sehr feiner Ausblendung und auf einer Fokussierung des Strahls, so daß möglichst alle Teilchen gleicher Masse sich in einem Punkt der photographischen Platte vereinigen, wodurch erst die für hohe Genauigkeitsanforderungen notwendige Intensität gewonnen wird. Bei der Fokussierung unterscheidet man Geschwindigkeitsfokussierung (Vereinigung von Teilchen verschiedener Geschwindigkeit), Richtungsfokussierung (Vereinigung von Teilchen verschiedener Ausgangsrichtung) und Doppelfokussierung, bei welcher beides erreicht wird. Die Fortschritte in der Fokussierung, welche einerseits von Bainbridge,



andererseits vor allem von Mattauch und seinen Schülern erzielt wurden, haben den M.n zu dem Prä-

zisionsinstrument gemacht, das er heute ist. Die Abb. zeigt den Strahlengang in einem doppelfokussierenden M.n. Das Auflösungsvermögen $m/\Delta m$, wo m die beobachtete Masse und Δm der kleinste noch trennbare Massenunterschied ist, ist im Laufe der Zeit von einigen 100 auf über 50 000 gesteigert worden. Einzelne Massenwerte können heute mit Genauigkeiten bis über 10^{-6} gemessen werden. [1]

engl.: mass spectrograph

franz.: spectrographe de masses

Lit.: s. Kern. Ferner: H. Ewald u. H. Hintenberger, Massenspektroskopie, Verlag Chemie, Weinheim, 1953.

Massenspektrum. 1. In der Kernphysik versteht man unter M. die Zusammenfassung der Massenwerte eines mit dem Massenspektrographen analysierten Ionenstrahls, insbesondere eines Isotopen-Gemischs.
2. Man spricht auch von einem M. der Elementarteilchen, d. h. einfach einer Zusammenstellung ihrer Massenwerte. Es ist eine Aufgabe der Theorie der Elementarteilchen, dieses M. und damit praktisch eine Systematik aller Elementarteilchen zu gewinnen. Es sind mehrere Ansätze zu einer solchen Theorie vorhanden. Eine jüngst entstandene Theorie Heisenbergs scheint einer endgültigen Lösung nahe zu kommen. [1, 7]

engl.: mass spectrum

franz.: spectre des masses

Massensynchrometer, ein Apparat nach der Art des *Zyklotrons, der aber dazu dient, aus Magnetfeld, Bahnradius und Umlaufsfrequenz die Masse der betreffenden Ionen zu bestimmen. [1]

engl.: mass synchrometer

franz.: synchromètre de masse

Massenveränderlichkeit, relativistische. Durch zahlreiche Experimente ist die von der Relativitätstheorie geforderte M. sichergestellt worden. Wird die Masse m eines Körpers von einem bestimmten Bezugssystem aus beurteilt, so erweist sie sich als abhängig von der Relativgeschwindigkeit v des Körpers gegenüber dem System und es ist

$$m(v) = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}\,.$$

Dabei ist c die Vakuum-Lichtgeschwindigkeit und m_0 die Ruhmasse des Körpers, d. h. jene Masse, die man feststellt, wenn er im Bezugssystem ruht. Die r. M. zeigt sich besonders deutlich bei sehr leichten Teilchen wie dem Elektron. [13]
engl.: relativity of mass
franz.: changement de masse relativiste

Massenzahl, die Gesamtzahl der Nukleonen (Protonen und Neutronen) im Atomkern. Sie wird durchweg mit A bezeichnet und oft dem Symbol des Kerns als oberer Index angefügt, z. B. ^{238}U, d. h. das hier gemeinte Uranisotop hat die M. $A = 238$. Die M. ist stets die dem Isotopengewicht nächstgelegene ganze Zahl. [1, 7]
engl.: mass number
franz.: nombre de masse

Master-Slave-Manipulator, s. Manipulator.

Material, wellenlängenunabhängiges. Ein M., das sich bei der Energieabsorption von Strahlung bezüglich eines bestimmten anderen M. wellenlängenunabhängig, also energieunabhängig zeigt. Beide Stoffe müssen in dem interessierenden Wellenlängenbereich den gleichen Verlauf des Bruches $(\alpha \tau + \sigma^* + k^*)/\mu$ und des Elektronenbremsvermögens haben (s. Wirkungsgesetz). Das M. bezogen auf Luft bezeichnet man als „luftäquivalent“. [26]
engl.: wave length independent material
franz.: matériau d'absorption équivalente pour toute longueur d'onde

Materialien, parasitäre, sind alle Stoffe im Reaktor mit Ausnahme des Spaltstoffs und des Brutstoffs, da alle diese Stoffe nutzlos Neutronen absorbieren. Die wichtigsten sind: Moderator, Kühlmittel, Hülsenmaterial, Legierungsbestandteile des Brennstoffs sowie die zeitlich veränderlichen *Reaktorgifte (Spaltprodukte und schwere Isotope). [12]
engl.: parasitic material
franz.: matériaux parasites

Materialisation. Gemäß der Einsteinschen Gleichung $E = m \cdot c^2$ sind Energie und Masse Ausdruck

für ein und dieselbe Qualität. Beide sind eindeutig miteinander verkoppelt. Jeder Masse m ist ein Energiewert zuzuschreiben, der durch Multiplikation mit c^2 gewonnen wird:

$$E = m c^2 .$$

Masse ist danach nur als eine bestimmte Form der Energie aufzufassen, ähnlich wie auch die phänomenologische Wärme eine bestimmte Form von Energie ist. Man wird daher vermuten, daß man irgendeine Energieform, z. B. kinetische Energie, in Masse überführen kann. Diesen Prozeß bezeichnet man als M. Nun ist dort, wo Masse erzeugt wird, nach unserer gewöhnlichen Sprache ein Elementarteilchen entstanden. M. ist also die Entstehung von Elementarteilchen, die eine nicht verschwindende Ruhmasse haben. Solche Prozesse kennen wir. Zum Beispiel ist die Entstehung eines Elektronenpaares aus einem Photon genügend hoher Energie eine M. (s. Paarerzeugung). Auch die Entstehung von Mesonen durch Wechselwirkung von Protonen oder Neutronen mit ruhenden Atomkernen, die man in der kosmischen Strahlung beobachtet und an einer großen Beschleunigungsanlage künstlich herbeiführen kann, gehört hierher. [7]

engl.: materialisation
franz.: matérialisation

Materialprüfreaktor, s. Prüfreaktor.

engl.: materials testing reactor
franz.: réacteur d'essai des matériaux

Materiewelle. De Broglie führte umgekehrt zu Einsteins Lichtquantenhypothese, die der landläufigen Wellenvorstellung vom Licht einen Partikelaspekt zur Seite stellte, eine Wellenvorstellung bei der Materie ein. Seine Hypothese lautet: Jedesmal, wenn in einem Bezugssystem eine materielle Partikel eine Energie E besitzt, existiert in diesem Bezugssystem ein periodisches Phänomen der Frequenz ν, die durch die Gleichung $E = h\nu$ definiert ist (h Plancksches Wirkungsquantum). De Broglie leitet aus dieser

Hypothese die Wellenlänge λ jenes periodischen Phänomens, eben der M., ab:

$$\lambda = \frac{h}{m\,v}\,.$$

Diese Gleichung heißt de Brogliesche Beziehung (1924). Dabei bedeutet m die Masse der Partikel und v ihre Geschwindigkeit. Damit ist ebenso wie beim Licht auch bei der Materie die Doppelnatur eingeführt. Die Beachtung der Wellennatur der Neutronen ist wichtig für das Verständnis vieler Reaktionen der Neutronen mit Atomkernen. Beugungsexperimente mit Neutronen geben Aufschluß über Fragen des Kristallbaus (*Neutronenspektroskopie). [7]

engl.: de Broglie wave

franz.: onde de de Broglie, onde matérielle

Matrix. Ein System von $m \cdot n$ Zahlen oder sonstigen Rechengrößen, die zu einem rechteckigen Schema von m Zeilen und n Spalten angeordnet werden, nennt man eine M. Man bezeichnet eine M. meist mit großen Buchstaben:

$$A = ((a_{ik})) = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \cdots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \cdots & a_{3n} \\ \vdots & & & & \\ a_{m1} & a_{m2} & a_{m3} & \cdots & a_{mn} \end{pmatrix}.$$

Die Zahlen a_{ik} heißen Elemente der M. Der erste Index numeriert stets die Zeile, der zweite die Spalte. Ist $m = n$, so nennt man das Schema eine quadratische M. Wachsen m und n über alle Grenzen, wie es in der Quantenmechanik vorkommt, so spricht man von einer unendlichen M. Wenn man Zeilen und Spalten vertauscht, so gewinnt man die gestürzte oder transportierte M.:

$$\tilde{A} = ((a_{ki}))\,.$$

Sind die Matrixelemente komplex, so ist

$$A^* = ((a_{ik}^*))$$

die zu A konjugiert-komplexe M. Als begleitende oder adjungierte M. bezeichnet

man diejenige M., die beide Veränderungen erfahren hat:

$$A\dagger = ((a^*_{ki})) = \tilde{A}^* .$$

Wenn $\qquad A\dagger = A$, d. h. $a^*_{ki} = a_{ik}$,

nennt man die M. selbstadjungiert oder hermitesch.

Ist $\qquad A^* = A$, d. h. $a^*_{ir} = a_{ik}$,

so ist die M. reell. Eine M., die gleich ihrer Transponierten ist, heißt symmetrisch. Bei ihr sind die symmetrisch zur Diagonalen gelegenen Elemente gleich:

$$\tilde{A} = A, \text{ d. h. } a_{ki} = a_{ik} .$$

Unterscheiden sich diese um das Vorzeichen, gilt also

$$a_{ki} = -a_{ik} ,$$

spricht man von schiefsymmetrischen M.n Die Diagonalelemente einer schiefsymmetrischen M. sind sämtlich Null.

Diejenige M., die die Gleichung

$$A \cdot B = 1$$

befriedigt, heißt reziproke M. Man schreibt

$$B = A^{-1} .$$

Unter 1 ist die Einheitsmatrix verstanden (oft auch mit 𝔈 bezeichnet):

$$1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \dots 0 \\ 0 & 1 & 0 \dots 0 \\ 0 & 0 & 1 \dots 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 \dots 1 \end{pmatrix} .$$

Wenn die reziproke M. gleich der adjungierten ist, also

$$A^{-1} = A\dagger ,$$

so daß $\qquad A \cdot A\dagger = A\dagger \cdot A = 1$,

nennt man A unitär. Mit A sind auch A^{-1}, $\tilde{A}$, A^*, $A\dagger$ unitär.

A heißt orthogonal, wenn

$$\tilde{A} \cdot A = 1 .$$

Für einen solchen Fall ist die Determinante von A gleich ± 1.

Matrixdarstellung der Reaktorgleichung

Die Elemente einer M. sind im einfachsten Fall Zahlen. Sie können verschiedene Bedeutung haben, z. B. können sie die Koeffizienten eines linearen Gleichungssystems, von Transformationen, von quadratischen oder Bilinearformen darstellen. Sie können Tensorkomponenten repräsentieren; sie können Differential- und Integraloperatoren sein, u. U. auch ihrerseits wieder Matrizen. In diesem Fall spricht man von Übermatrizen.

Matrizen sind im allgemeinen nichtkommutative Größen. Um die Mannigfaltigkeit der zur Verfügung stehenden M. einzuschränken, gibt es in der Quantenmechanik, wo die M. an die Stelle einfacher Zahlen zur Beschreibung physikalischer Größen (Observabler) treten, Vertauschungsrelationen. [7]

engl.: matrix

franz.: matrice

Lit.: E. Madelung, Die math. Hilfsmittel des Physikers, Springer, Berlin, 1950

Matrixdarstellung der Reaktorgleichung. Die Diffusionsgleichungen für den Fluß von Neutronen verschiedener Energie (s. Gruppendiffusionsmethode) können zu einer Matrixgleichung zusammengefaßt werden. Dabei wird der Fluß zu einer Spaltenmatrix mit so viel Elementen, wie Neutronengruppen eingeführt sind. Die Differentialoperatoren der einzelnen Gleichungen stehen in den Matrixelementen M_{kj}. Unter Vernachlässigung der verzögerten Neutronen lauten die Diffusionsgleichungen

$$\sum_{j=1}^{m} M_{kj}\,\Phi_j = \frac{\partial \Phi_k}{\partial t}, \quad k = 1, 2 \ldots,$$

die sich zu der Matrixgleichung

$$M\,\Phi = \frac{\partial \Phi}{\partial t}$$

zusammenfassen lassen. Die Matrizen M und Φ lauten z. B. bei einer Zweigruppendarstellung

$$M = \begin{pmatrix} D_1\,\Delta - \Sigma_1 & \Sigma_2\,f \cdot \eta \\ \Sigma_1 & D_2\,\Delta - \Sigma_2 \end{pmatrix}, \quad \Phi = \begin{pmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \end{pmatrix}.$$

Bezeichnungen und Ergänzungen s. u. Zweigruppentheorie, Gruppendiffusionsmethode, Reaktorgleichung. [7]

engl.: matrix representation of reactor equation
franz.: représentation matricielle de l'équation d'un réacteur

Lit.: S. Glasstone u. M. C. Edlund, Elements of Nuclear Reactor Theory, van Nostrand, New York, 1955.

Maximalleistung, s. Grenzleistung.

Maxwell-Boltzmannsche Gleichung in der Plasmakinetik. Die M.-B. G. (Benennung nach D. Hilbert), auch Boltzmannsche Stoßgleichung oder einfach Boltzmann-Gleichung genannt, beschreibt die zeitliche Änderung einer *Wahrscheinlichkeitsdichte $f(\mathfrak{r}, \mathfrak{v}, t)$ im Phasenraum (μ-Raum) eines einzelnen Teilchens. Ist $f(\mathfrak{r}, \mathfrak{v}, t)$ die Wahrscheinlichkeitsdichte zur Zeit t und

$$f\left(\mathfrak{r} + \mathfrak{v}\,\mathrm{d}t, \mathfrak{v} + \frac{F}{m}\,\mathrm{d}t, t + \mathrm{d}t\right)$$

diejenige zur Zeit $t + \mathrm{d}t$, dann gilt

$$f(\mathfrak{r}, \mathfrak{v}, t) = f\left(\mathfrak{r} + \mathfrak{v}\,\mathrm{d}t, \mathfrak{v} + \frac{F}{m}\,\mathrm{d}t, t + \mathrm{d}t\right)$$

wenn keine Stöße unter den Teilchen stattfinden. Im Falle von Stößen unter den Teilchen gilt

$$f\left(\mathfrak{r} + \mathfrak{v}\,\mathrm{d}t, \mathfrak{v} + \frac{F}{m}\,\mathrm{d}t, t + \mathrm{d}t\right) - f(\mathfrak{r}, \mathfrak{v}, t) = \left(\frac{\partial f}{\partial t}\right)_c \cdot$$

Dabei ist f die Wahrscheinlichkeitsdichte im μ-Raum als Funktion des Ortsvektors $\mathfrak{r}$, der Molekülgeschwindigkeit $\mathfrak{v}$ und der Zeit t. F ist eine (zunächst geschwindigkeitsunabhängige) äußere Kraft und $(\partial f/\partial t)_c$ ist die Änderung von f pro Zeiteinheit infolge von Stößen. Entwickelt man das 2. Glied der obigen Gleichung in eine Taylorreihe und bricht nach der ersten Ableitung ab, dann folgt

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \mathfrak{v} \cdot \frac{\partial f}{\partial \mathfrak{r}} + \frac{F}{m} \cdot \frac{\partial f}{\partial \mathfrak{v}} = \left(\frac{\partial f}{\partial t}\right)_c \cdot$$

$\partial/\partial\mathfrak{r}$ und $\partial/\partial\mathfrak{v}$ sind Gradienten im $\mathfrak{r}$- bzw. $\mathfrak{v}$-Raum. Man kann zeigen, daß in dieser Näherung F auch eine geschwindigkeitsabhängige Kraft sein kann (z. B.

äußeres Magnetfeld). So lautet z. B. diese Gleichung im Falle der i-ten Komponente eines Plasmas

Maxwell-Boltzmannsche Gleichung

$$\frac{\partial f_i}{\partial t} + \mathfrak{v} \cdot \frac{\partial f_i}{\partial \mathfrak{r}} + \frac{e_i}{m_i}\left(\mathfrak{E} + \frac{\mathfrak{v}}{c} \times \mathfrak{B}\right) \cdot \frac{\partial f_i}{\partial \mathfrak{v}} = \\ = \sum_j \left(\frac{\partial f_i}{\partial t}\right)_{c,j},$$

wobei e_i die Ladung eines Ions der i-ten Sorte, m_i seine Masse, sowie $\mathfrak{E}$ und $\mathfrak{B}$ die elektrische und die magnetische Feldstärke ist. Die Größe $(\partial f/\partial t)_c$ erhält man durch eine Betrachtung der pro Zeit- und Volumeneinheit erfolgenden Stöße. Ist $\Gamma_{ij}^{(-)}$ der Verlust durch Stöße eines Teilchens i mit solchen von der Sorte j, und ist $\Gamma_{ij}^{(+)}$ der (darauf folgende Rück-) Gewinn durch solche Stöße, dann folgt

$$\left(\frac{\partial f_i}{\partial t}\right)_{c,j} d\mathfrak{v}_i\, d\mathfrak{r}\, dt = \Gamma_{ij}^{(-)}\, d\mathfrak{v}_i\, d\mathfrak{r}\, dt - \\ - \Gamma_{ij}^{(+)}\, d\mathfrak{v}_i\, d\mathfrak{r}\, dt = \iiint_{\mathfrak{v}_j\, \varepsilon\, b} f_i' f_j' g_{ij}' b'\, db'\, d\varepsilon \\ d\mathfrak{v}_i' \cdot d\mathfrak{v}_i'\, d\mathfrak{r}\, dt - \iiint_{\mathfrak{v}_j\, \varepsilon\, b} f_i f_j g_{ij}\, b\, db\, d\varepsilon\, d\mathfrak{v}_j\, d\mathfrak{v}_i\, d\mathfrak{r}\, dt\,.$$

Wegen $d\mathfrak{v}_i\, d\mathfrak{v}_j = d\mathfrak{v}_i'\, d\mathfrak{v}_j$ (*L i o u v i l l e scher Satz) und $g_{ij}\, b\, db = g_{ij}'\, b'\, db'$ (inverse Stöße, s. z. B. Tolman, Statistical Mechanics) folgt daraus

$$\left(\frac{\partial f_i}{\partial t}\right)_{c,j} + \iiint_{\mathfrak{v}_j\, \varepsilon\, b} (f_i' f_j' - f_i f_j)\; g_{ij}\, b\, db\, d\varepsilon\, d\mathfrak{v}_j\,.$$

Dabei sind die gestrichenen Größen nach dem Stoß, die ungestrichenen vor dem Stoß, g_{ij} der Betrag der Relativgeschwindigkeit zwischen den Teilchen i und j und b der Stoßparameter. Der obige Ausdruck gilt, wenn nur elastische Stöße auftreten. Im Falle elastischer und nichtelastischer Stöße (Anregung von Quantensprüngen, Reaktionen) gilt

$$\left(\frac{\partial f_i}{\partial t}\right)_{c,j} = \iiint_{\mathfrak{v}_j\, \varepsilon\, b} (f_i' f_j' - f_{i\,j})\; g_{ij}\, b\, db\, d\varepsilon\, d\mathfrak{v}_j - \\ - \iiint_{\mathfrak{v}_j\, \varepsilon\, b} f_i' f_j'\, \sigma_{ij}(g_i\, b)\; g_{ij}\, b\, db\, d\varepsilon\, d\mathfrak{v}_j\,,$$

wobei $\sigma_{ij}(g, b)$ die Wahrscheinlichkeit für einen be-

stimmten, nichtelastischen Stoß ist. Ist $q_{ij}^{kl}(g, \vartheta, \varphi)$ der (quantenmechanische) differentielle Wirkungsquerschnitt in einem Polarkoordinatensystem mit den Streuwinkeln ϑ und φ für einen Übergang von den Quantenzuständen i, j zu k, l (wobei auch $i = k$ und $j = l$ sein kann, elastischer Stoß!), dann folgt

$$\left(\frac{\partial f_i}{\partial t}\right)_{c,\,j\,k\,l} = \int\limits_{\mathfrak{v}_j}\int\limits_{\varphi}\int\limits_{\vartheta} (f_k{}' f_l{}' - f_i f_j)\, g_{ij}\, q_{ij}{}^{kl}(g, \vartheta, \varphi) \sin\vartheta \, d\vartheta \, d\varphi \, d\mathfrak{v}_j \, .$$

Die M.-B. G. gilt nur, wenn eine Beschreibung im μ-Raum erlaubt ist, d. h. wenn die Verteilung der einzelnen Teilchen voneinander stochastisch unabhängig sind (dazu muß die Hamilton-Funktion des Gesamtsystems in den Koordinaten der Einzelteilchen separierbar sein), und wenn die freie Flugdauer eines Teilchens zwischen zwei Stößen groß gegen die Stoßzeit ist. Dies ersieht man bei der Herleitung der M.-B. G. aus dem *Liouvilleschen Satz (Kirkwood). Aus der M.-B. G. wird die *Transportgleichung der Gaskinetik gewonnen. S. a. kinetische Gastheorie, Enskogsche und Gradsche Lösung der Boltzmanngleichung. – Formulierung der M.-B. G. für Neutronenkinetik im Reaktor s. u. Boltzmann-Gleichung. [27]

engl.: Boltzmann equation (equation of Maxwell and Boltzmann)

franz.: équation de Boltzmann

Lit.: S. Chapman and T. G. Cowling, Mathematical Theory of Non-uniform Gases, Cambridge Univ. Press, 1952. – J. O. Hirschfelder, C. F. Curtiss and R. B. Bird, Molecular Theory of Gases and Liquids, Wiley, New York, 1954. – J. G. Kirkwood. J. Chem. Phys. 15, 72 (1947). – H. J. Kaeppeler, Mitt. Forsch. Inst. Physik d. Strahlantriebe, Nr. 15, Stuttgart, 1958. – R C. Tolman, Principles of Statistical Mechanics, Oxford Univ. Press, 1938.

Maxwell-Boltzmannsches Verteilungsgesetz, s. Verteilungsgesetz.

engl.: Maxwell distribution law

franz.: loi de distribution maxwellienne

Maze-Zähler, Zählrohr, meist Glaszählrohr, bei dem die Anode im Inneren des Rohres, die Kathode außen auf der Glaswand angebracht ist. Besonders geeignet ist dünnes Natronglas (Wandstärke $< 0{,}5$ mm). Die Kathode kann auch aus einer Flüssigkeit, z. B. aus einer radioaktiven Lösung bestehen. Der Zähler arbei-

tet praktisch bei der gleichen Spannung wie ein Zählrohr gleichen Ausmaßes mit innen angebrachter Kathode. [6]
engl.: Maze counter
franz.: compteur de Maze

mb = millibarn = 10^{-27} cm², Einheit für kleine Wirkungsquerschnitte von Atomkernen. [7]

MBP, Monobutylphosphat, entsteht zusammen mit DBP, Dibutylphosphat, bei der Hydrolyse von TBP und verschlechtert die Extraktionseigenschaften von TBP, Tributylphosphat, erheblich. [5]

mc, Abk. für Millicurie.

μc, Abk. für Mikrocurie.

Mcal, Abk. für Megakalorie.

mC d, Abk. für Millicurie-Tage.

mdd = mg/dm² Tag, gebräuchliches Maß zur Kennzeichnung der Korrosionsgeschwindigkeit von Metallen. Man erfaßt damit die pro Tag und dm² korrodierte Metallmenge. Die Angabe in mdd hat nur dann Sinn, wenn der Korrosionsangriff möglichst gleichmäßig über die ganze Fläche erfolgt; sie versagt zur Kennzeichnung eines auf begrenzte Bereiche beschränkten Lochfraßes. [20]

MDDC, Abk. für den Deklassifizierungsschlüssel des *Manhattan District *(Manhattan District Declassification Code)*. [24]

ME, Abk. für atomphysikalische Masseneinheit, auch Kernmasseneinheit. Hierfür wählt man $^1/_{16}$ der Masse des Sauerstoffatoms $^{16}_{8}O$, die wegen der Bindungsenergie der Nukleonen im Sauerstoffkern etwas kleiner ist als die Masse des Protons und des Neutrons. Bei dieser Definition ist M mit der reziproken Loschmidt-Zahl L identisch.

$$1\,\text{ME} = \frac{1}{L} = 1{,}659 \cdot 10^{-24}\,\text{g}\,.$$

Die Kernmasseneinheit ist ein in der Kernphysik gebräuchliches Energiemaß, das auf der Einsteinschen Grundgleichung

$$\text{Energie} = M\,c^2$$

basiert.

$$1\,\text{ME} \triangleq \frac{1}{16} M({}^{16}_{8}\text{O}) \cdot c^2$$
$$= 1{,}492 \cdot 10^{-3}\,\text{erg} = 931{,}1\,\text{MeV}.$$

In der Regel benutzt man ein Tausendstel dieser Einheit und bezeichnet es heute meist mit mME, früher TME.

Die obige Definition begründet die physikalische Skala. In der Chemie ist bei analogen Angaben die Skala der *Atomgewichte üblich. Die Einheit ist im Gegensatz zur physikalischen ME definiert durch $^1/_{16}$ der durchschnittlichen Masse des atomaren Sauerstoffs in natürlicher Isotopenzusammensetzung, also unter Einschluß von 0,04 % ${}^{17}_{8}$O und 0,20 % ${}^{18}_{9}$O. Dem Atomgewicht 1 kommt 1,000279 ME zu. [1, 7]
engl.: amu (atomic mass unit)
franz.: u. m. a. (unité de masse atomique)

Mega-, als Vorsilbe vor Maßeinheiten verwendete Bezeichnung, die bedeutet, daß von der im Hauptwort bezeichneten Größe das 1 Millionenfache (10^6) genommen werden soll. Beispiel: Megawatt = 1 000 000 W (griech.: *mega* = groß). Abk.: M. [24]

Mehrgruppentheorie, s. Gruppendiffusionsmethode.
engl.: multi-group theory
franz.: théorie polygroupe, modèle multi-groupe

Mehrkanal-Diskriminator, s. Diskriminator.

Mehrtreffervorgang. In der Strahlenbiologie ist der M. ein Effekt, der zu seiner Erzeugung mehrere Treffer benötigt. Die *Dosiseffektkurve verläuft bei M.n S-förmig, sofern die biologische Variabilität bedeutungslos ist (s. a. Treffertheorie und Variabilität, biologische). [28]

Mehrzonenreaktor, s. Zweizonenreaktor.
engl.: multi-region reactor
franz.: réacteur multizône

Meiosis, svw. Reduktionsteilung, ein Vorgang, bei dem die paarweise in den Körperzellen vorhandenen Chromosomen durch Auseinanderweichen auf die Hälfte reduziert werden zum Zwecke der Bildung von Keimzellen, die stets nur den halben Chromosomensatz eines Individuums besitzen. [28]
engl.: meiosis *franz.: méiose*

Meldetafel, Teil des Schaltpultes, in dem meistens durch Aufleuchten von Lampen angezeigt wird, ob irgendein Gerät am Reaktor defekt ist, oder ob die Betriebswerte vom Sollwert abweichen. [19]
engl.: annunciator pannel
franz.: (panneau d')affichage

Melusine, Bezeichnung für den Forschungsreaktor des französischen Atomkommissariats vom Wasserbecken-Typ. Wärmeleistung 1000 kW. Im Bau im Atomforschungszentrum Grenoble, Fertigstellung 1958 geplant. [24]

Mendelejewit, schwarzes Tantal-Niob-Mineral mit 23,5 % U_3O_8-Gehalt. [24]

Mendelevium, das neunte *Transuran mit der Ordnungszahl 101, chemisches Symbol Md. Das Md wurde 1955 durch α-Teilchen-Beschuß des *Einsteinium-Isotops Es-253 zunächst in nur wenigen Atomen gewonnen. Das hierbei entstehende Isotop Md-256 wandelt sich mit einer Halbwertszeit von etwa 1/2 Stunde durch K-Einfang in das *Fermium-Isotop Fm-256 um. [11]
engl.: mendelevium
franz.: mendélévium

Mengenflußdichte. Das Produkt aus Dichte ϱ und Geschwindigkeit w, $G = \varrho\, w$, wird M. genannt und ist eine im amerikanischen Schrifttum gebräuchliche Größe. [5]
engl.: mass-velocity, mass flow rate
franz.: débit-masse

MERLIN, Abk. für Medium Energie Research Lightwater Moderated Industrial Nuclear Reactor, von der britischen Firma AEI entwickelter 5000 kW Forschungsreaktor, Typ: Wasserbeckenreaktor. Erster im Besitz der Privatindustrie (AEI) in Großbritannien befindlicher Reaktor in Aldermaston Court. [24]

Meson. Im Jahre 1937 entdeckten Anderson und Neddermeyer auf Nebelkammerphotographien, die zur Untersuchung der kosmischen Strahlung aufgenommen waren, die Spur eines Teilchens, die man weder dem Proton noch dem Elektron – den damals bekannten geladenen Elementarteilchen – zuschreiben konnte. Die Spur mußte von einem Teilchen herrühren, dem eine Masse zwischen Elektron und

Proton zukam. Wegen dieser Eigenschaft nannte man das neue Teilchen M., das Mittlere, anfangs auch Mesotron. Inzwischen sind weitere Teilchen mit der gleichen Eigenschaft einer Masse zwischen der von Elektron und Proton entdeckt worden und folgerichtig heißen alle diese Teilchen M.n, obgleich sie nicht mehr miteinander zu tun haben als das Elektron mit dem Proton. Das Wort „M." bezeichnet also heute nicht mehr ein bestimmtes Elementarteilchen, sondern eine Gruppe. Für diese Gruppe ist inzwischen die Eigenschaft der mittleren Masse ein untergeordnetes Charakteristikum geworden. Wichtig ist, daß alle M.n instabil sind und in irgendwelche anderen Elementarteilchen, z. T. wieder M.n, zerfallen. Die μ-M.n und die π-M.n sind am häufigsten. Die μ-M.n tragen positive und negative Ladung. Ein neutrales μ-M. ist nicht nachgewiesen, wenn auch immer wieder Vermutungen für seine Existenz auftauchen. Die π-M.n sind auch als neutrales Teilchen beobachtet. Sie sind die wesentlichsten Quanten des Kernfeldes und theoretisch am meisten untersucht (s. u.). Den schwereren M.n ist ihr Platz in der Systematik der Materie noch nicht sicher zuzuweisen. Sie kommen z. T. auch im Kernfeld vor, haben also theoretisch eine ähnliche Bedeutung wie die π-M.n. Erst um 1955 erkannte man, daß die ganze Gruppe der schweren M.n eine einheitliche Masse hat (s. Tab.). Ihr Zerfall ist aber sehr verschieden. Bei Aufrechterhaltung der Parität ist es unmöglich, daß sie nur drei Teilchen mit positiver, negativer oder Null-Ladung umfassen, denen verschiedene Möglichkeiten des Zerfalls zukommen. Die Parität der τ-M.n muß von der der Θ-M.n verschieden sein. Möglicherweise umfassen die $\varkappa$-M.n zwei Gruppen von je drei Teilchen mit verschiedener Zerfallsweise, die man vorläufig Tauonen und Thetonen genannt hat. Dazu kommen dann noch die eigentlichen $\varkappa$-M.n. Wenn man die Parität als Quantenzahl nicht gelten läßt, kann man von e i n e m schweren M. ($\varkappa$-M.) mit verschiedenen Zerfallsmöglichkeiten reden.

engl.: meson *franz.: méson*

Lit.: L. Janossy, Cosmic Rays, 2nd Edition, Clarendon Press, Oxford, 1950. – Cosmic Radiation (Colston Papers), Butterworth's

Scientific Publication Ltd., London, 1949. – Heisenberg, Vorträge über kosmische Strahlung, Springer, Berlin, 1953. – M. Gell-Mann, Phys. Rev. 92, 833, 1953. – A. Pais, Phys. Rev. 86, 663, 1952.

Tabelle der Mesonen

Teilchen	Symbol	Elementarladung	Spin	Masse in Elektronenmassen	Zerfallsprodukte	Lebensdauer Sekunden	Fremdheitsquantenzahl
μ-Meson	μ^-	-1	$^1/_2$	207	$e^- + 2\nu$	$2{,}2 \cdot 10^{-6}$	–
(1937)	μ^+	$+1$	$^1/_2$	207	$e^- + 2\nu$	$2{,}2 \cdot 10^{-6}$	–
π-Mesonen	π^+	1	0	273	$\mu^+ + \nu$	$2{,}5 \cdot 10^{-8}$	0
(1947)	π^0	0	0	265	2γ oder $2e^+ + 2e^-$	$\sim 5 \cdot 10^{-15}$	0
	π^-	-1	0	273	$\mu^+ + \nu$	$2{,}5 \cdot 10^{-8}$	0
$\varkappa$-Mesonen	τ^+	1	0	966	$2\pi^+ + \pi^-$ od.	10^{-8}	$+1$
(1949 f)				966	$\pi^+ + 2\pi^0$		
Tauonen	τ^-	-1	0		$2\pi^- + \pi^+$ od. $\pi^- + 2\pi^0$	?	-1
	τ^0	0	0	966	$\pi^+ + \pi^- + \pi^0$	Nachweis unsicher	
$\varkappa$-Mesonen	ϑ^0	0	0	966	$\pi^+ + \pi^-$	$1{,}7 \cdot 10^{-10}$	± 1
(1949 f)	$\varkappa^+_{\pi 2}(\vartheta^+, \chi^+)$	1	0	966	$\pi^+ + \pi^0$	$3{,}7 - 8{,}5 \cdot 10^{-10}$	1
Thetonen	$\varkappa^-_{\pi 2}(\vartheta^-, \chi^-)$	-1	0	966	$\pi^- + \pi^0$	?	-1
	$\varkappa^+_{\mu 2}$	1	0	966	$\mu^+ + \nu$	10^{-8}	1
	$\varkappa^+_{\mu 3}$	1	0	966	$\mu^+ + 2\nu(?)$	?	1
	$\varkappa^+_{e3}\ (\varkappa_\beta)$	1	0	966	$e^+ + 2\nu(?)$	?	1

Mesonatom, ein Atom, in dessen Hülle als innerstes Teilchen ein Meson auftritt. Bis jetzt sind (genauer untersucht seit 1952) π-M.e und μ-M.e festgestellt worden. Die π-M.e sind wegen der starken Wechselwirkung der π-Mesonen mit den Atomkernen sehr kurzlebig und können nur mit leichten Kernen beobachtet werden. Dagegen haben die μ-M.e Lebensdauern von der Größenordnung der Lebensdauer des μ-Mesons selbst (einige 10^{-6} s) und treten mit leichten und schweren Kernen auf. [1]
engl.: mesic atoms
franz.: atome mésique

Mesonenkomponente ist derjenige Teil der kosmischen *Strahlung, der aus Mesonen besteht. In der Regel meint man in diesem Zusammenhang *μ-Mesonen. [7]
engl.: meson component
franz.: composante mésique

Mesonentheorie der **Kernkräfte.** Die M. d. K. ist eine Feldtheorie, die das Phänomen der *Kernkräfte in einer vom Standpunkt der theoretischen Physik einwandfreien Weise fassen will. Die Aufgabe ist, eine Theorie zu formulieren, die die beobachteten Eigenschaften der Atomkerne sowie deren Wechselwirkung mit freien Nukleonen erklärt. Die Situation der Kernphysik ist gerade umgekehrt wie die der theoretischen Elektrodynamik, wo die Kräfte gut bekannt sind, und die aus ihnen resultierenden Erscheinungen berechnet werden.
Zur Erläuterung der Grundlagen der M. d. K. s. Kernkraft, Meson, Kernfeld. [7]
engl.: meson theory of nuclear forces
franz.: théorie mésonique des forces intranucléaires
Lit.: D. Rosenfeld, Nuclear Forces, North Holland Publishing Comp., 1949. – G. Wentzel, Quantentheorie der Wellenfelder, Deuticke, Wien, 1943.

Mesonfeld ist eine Parallelerscheinung zum Lichtfeld oder Lichtquantenfeld. Der Begriff M. ist identisch mit dem Begriff *Kernfeld. Der erste Ausdruck bezeichnet das Feld nach dem Quant, das ihm zugeordnet ist, der zweite nach dem Ort, wo es vorkommt. [7]
engl.: meson field
franz.: champ du méson, champ mésique

Mesothorium heißen zwei verschiedene radioaktive Isotope, die in der Thorium-Zerfallsreihe vorkommen und als MsTh 1 und MsTh 2 unterschieden werden. Beide sind β-Strahler. Das MsTh 1 ist das Isotop 228 des Radiums, entsteht aus Thorium und zerfällt mit einer Halbwertszeit von 6,7 Jahren in MsTh 2; dieses ist das Isotop 228 des Aktiniums und zerfällt mit einer Halbwertszeit von 5,95 Stunden weiter in Radiothorium. M. (beide Arten im radioaktiven Gleichgewicht) hat eine bedeutende Rolle neben Radium in der Radiumtherapie gespielt. [1]
engl.: mesothorium
franz.: mésothorium

Meßbereiche für Messungen des Neutronenflusses und der Leistung. Für die M. ist auf Grund des Startverlaufs und wegen der Detektoreigenschaften folgende Einteilung üblich: a) *Leistungsbereich *(power range)*, b) Periodenbereich *(period range)*, c) *Quellbereich *(source range)*. Dabei umfaßt a) angenähert die ersten beiden Zehnerpotenzen unterhalb der Vollast, da nur hier die Leistung mit den üblichen technischen Meßgeräten überwacht werden kann. Der anschließende Bereich b) betrifft die Leistungen, bei denen ständig lückenlose Messungen der Periode möglich sind. Er umfaßt deshalb bei einfachen Meßkanälen mit nur einem Detektortyp bis zu 7 Zehnerpotenzen, bei mehreren einander überlappenden Kanälen dagegen bis zu 10 Zehnerpotenzen. Im Quellbereich c) sind dagegen genaue Messungen der Periode entweder rein meßtechnisch nicht möglich oder mit Rücksicht auf die Betriebsweise des Reaktors nicht erforderlich. Weiteres s. Startverlauf, Neutronenquellen.
Die wichtigsten Neutronendetektoren in den genannten drei M. sind: 1. Bor-(Ionen)kammern [bei a)] und mit geeigneter Gammaabschirmung auch bei b), 2. kompensierte Bor-Ionisationskammern [bei b)], 3. Bor-Proportionalzählrohre [bei b) und c)], 4. Spaltungs-Ionenkammern, auch *Spaltkammern genannt [bei a)], 5. Spaltungs-Proportionalzählrohre [bei c)], 6. Bor-Thermosäulen [bei a)]. Die größte Bedeutung haben zur Zeit die Gerätetypen 1., 3., 4. und 5., während 6. wegen zu kurzer Lebensdauer und 2. wegen

der Notwendigkeit häufiger Nacheichung der Kompensation nur unter bestimmten Bedingungen vorteilhaft sind. [9]

engl.: measuring ranges, instrument ranges

franz.: gammes, plages, domaines de mesure

Lit.: M. A. Schultz, Control of Nuclear Reactors and Power Plants, McGraw-Hill, New York, 1955. – S. Glasstone, Principles of Nuclear Reactor Engineering, D. van Nostrand Comp., New York, 1955. – The Reactor Handbook, Vol. 2, Engineering, S. 964 ff., McGraw-Hill, New York, 1955.

Meßeinrichtungen. Unter den M. eines Reaktors kann man zwei Gruppen unterscheiden:

a) Regelung und Überwachung der Betriebsdaten (Neutronenfluß, Kühlmitteldurchsatz, Temperaturen),

b) Überwachung der allgemeinen Sicherheit vor allem der Radioaktivität in den Teilen der Anlage, den Betriebsräumen und in der Umgebung.

Sieht man von den herkömmlichen M. für Kraftwerke ab, so handelt es sich bei den speziellen M. hauptsächlich um Strahlungsmeßgeräte. Hierbei treten besondere Probleme auf. Zum Beispiel beträgt der Meßbereich für den Neutronenfluß etwa 8 bis 10 Größenordnungen. Bei den meisten Meßstellen ist ein hoher Störpegel zu berücksichtigen, z. B. bei der *„Schnüffelanlage" für defekte Brennstoffelemente.
Die Konstruktionen und die Meßprinzipien sind bei den M. von Reaktoren sehr unterschiedlich. [8]

engl.: instrumentation

franz.: dispositifs de mesure

Meßfehler bei radioaktiven Messungen. Die Fehlermöglichkeiten bei radioaktiven Messungen in der Isotopentechnik sind außerordentlich hoch. Sie sind insbesondere bei Absolutbestimmungen der Aktivität und bei Vergleichsmessungen an unterschiedlichen Präparaten und Meßanordnungen in Betracht zu ziehen. Die Gründe für die vielfachen Fehlermöglichkeiten liegen in

1. der komplizierten Meßapparatur,
2. der Uneinheitlichkeit der radioaktiven Strahlung,
3. der zeitlichen Inkonstanz der Strahlung,
4. der Registrierung jedes einzelnen Elementaraktes,

5. der geringen Strahlungsintensität, die sogar die Berücksichtigung der statistischen Folge der einzelnen Elementarakte erforderlich macht,
6. den vielfältigen Möglichkeiten der Wechselwirkung der Strahlung mit der übrigen Materie und insbesondere den Bauteilen der Meßapparatur,
7. der Selbstabsorption des Präparats.

Die wichtigsten Meßfehler, die mehr oder minder exakt durch Korrektionen berücksichtigt werden können, sind:

1. der statistische Fehler,
2. der Totzeitfehler,
3. der *Rückstreufehler oder Unterlagefehler,
4. der *Streufehler,
5. der Fehler infolge Absorption der Strahlung, am Zählsondenfenster, im Luftspalt, in der Präparatbedeckung,
6. der *Selbstabsorptionsfehler,
7. der Fehler infolge Bremsstrahlung und Paarerzeugung in der Präparatbedeckung und an Teilen der Meßapparatur,
8. der Fehler infolge mangelnder Homogenität des Präparates,
9. der Abfallfehler (*radioaktiver Abfall),
10. der Adsorptions- und Sorptionsfehler flüssiger und gasförmiger Proben,
11. der Fehler der Ansprechwahrscheinlichkeit,
12. der Geometriefehler.

Die sicherste Methode zur Eliminierung vieler Fehler besteht darin, die Korrekturen an wenigen Standardmeßanordnungen experimentell festzulegen und diese Anordnungen nicht zu verändern. Außerdem ist häufiges Hinzuziehen von geeigneten *Eichpräparaten ratsam. [16]
engl.: error of measurement
franz.: erreur de mesure

Meßgenauigkeit. Bei der Bestimmung der Aktivität von Präparaten mit einem Zählrohr ist die M. durch die statistischen Schwankungen begrenzt. Ist N die

Zahl der Impulse in der Zeit t, so ist die mittlere Teilchenhäufigkeit $n = N/t$, ihr absoluter mittlerer statistischer Fehler $\Delta n \pm \sqrt{N}/t$, ihr relativer statistischer Fehler $\Delta N/N = 1/\sqrt{N}$, also 1 %, wenn $N = 10\,000$. [17]

engl.: accuracy in measurement

*franz.: exactitude (*oder *précision) de mesure*

Lit.: F. Kohlrausch, Praktische Physik, Bd. II, Teubner, Stuttgart, 1956.

Meßgeräte, nukleare, in der Reaktormeßtechnik übliche zusammenfassende Bezeichnung für alle Meßgeräte zum Nachweis von Kernreaktionen oder Kernstrahlungen. Die n. M. lassen sich wie folgt einteilen: 1. nach dem Verwendungszweck als Geräte für Leistungsmessungen, Sicherheitsüberwachung der Leistung, Nachweis von Strahlungsgefahren, Lokalisierung von Brennstoffhüllenschäden, experimentelle Messungen; 2. nach dem Meßobjekt als Neutronen-, Gamma-, Beta-, Alphastrahlungsdetektoren; 3. nach dem Gerätetyp: Ionisationskammern (auch Ionenkammern genannt), Zählrohre, Szintillationszähler, photographische Filme. Alle Geräte sind entweder nur für direkt ionisierende Strahlungen oder mit eingebauten Strahlungsumwandlern (Bor, Uran, Wasserstoff) auch zum Nachweis von Neutronen geeignet. Im letzteren Fall kommen außerdem noch Bor-Thermoelemente in Frage.

Die große Bedeutung der relativ störanfälligen n. M. für die Bedienungsanlage eines Reaktors ergibt sich teilweise aus ihrer außerordentlich großen Empfindlichkeit und Schnelligkeit (z. B. bei Leistungsmessungen), zum größeren Teil aber aus der grundsätzlichen Unmöglichkeit, die betreffenden Effekte mit anderen Mitteln nachzuweisen (z. B. radioaktive Verseuchungen). [9]

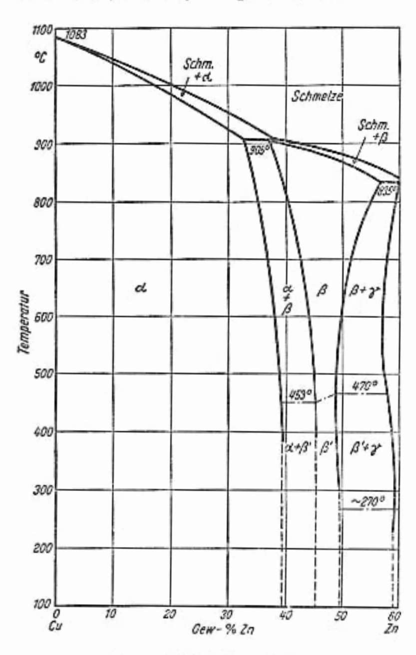
engl.: nuclear instruments

franz.: instruments nucléaires

Lit.: S. Glasstone, Principles of Nuclear Reactor Engineering, D. van Nostrand Comp., New York, 1955. – The Reactor Handbook, Vol. 2, Engineering, S. 946 ff., McGraw-Hill, New York, 1955.

Messing. Bezeichnung für Legierungen des Kupfers mit Zink. Man unterscheidet zwischen Alpha-M.,

Beta-M. und Alpha + Beta-M., je nachdem die Legierungen aus den Phasen Alpha (kubisch flächenzentriert), Beta (kubisch raumzentriert) oder Alpha + Beta bestehen (s. Abb.). Alpha-M. ist bei tieferen



Zustandsbild Kupfer-Zink

Temperaturen gut verformbar, Beta-M. vornehmlich bei höheren Temperaturen. Folgende Messingsorten (Abkürzung Ms, Zahl = Kupfergehalt in Gew.-%) sind gebräuchlich:

Ms 58: Hartmessing oder Schraubenmessing, Walz-, Preß- und Schmiedematerial. Mit 0,2 bis 3 % Blei sog. Automatenmessing für Zerspanungsbearbeitung.

Ms 60: Schmiedemessing oder Munzmetall, Walz-, Preß- und Schmiedematerial.

Ms 63: Druckmessing, Guß-, Walz-, Preß- und Schmiedematerial.

Ms 72: Schaufelmessing, Patronenmessing oder Gelbtombak, Walz-, Preß- und Ziehmaterial.

MS 85: Mittelrottombak, für Federungskörper (Schlauchrohre).

Sondermessinge enthalten neben Kupfer (58–76 %) und Zink weitere Legierungsbestandteile wie z. B. Aluminium, Mangan, Nickel, Silizium, Eisen u. a. Weitere Bezeichnungen für bestimmte Kupfer-Zinklegierungen: *Rotguß (Kupfer-Zinn-Zink-Legierung), Rotmessing oder Tombak (mit mehr als 80 % Cu); Gelbguß mit etwa 50 bis 80 % Kupfer, vielfach mit Beimengungen von Zinn, Aluminium, Eisen, Antimon und Kadmium; Weißguß mit 20 bis 50 % Kupfer. [4]

engl.: brass

franz.: laiton

Lit.: Werkstoffhandbuch Nichteisenmetalle, Beuth, Berlin, 1928.

Meßkammer, mehr oder minder perfektionierte Vorrichtung zur Aufnahme von Strahlungsdetektor und radioaktivem Präparat mit einer dicken Abschirmung gegen die *Umgebungsstrahlung (*Höhenstrahlung, *Raumstrahlung usw.). Große Abschirmdicken der M. erniedrigen den *Strahlungsuntergrund einer radioaktiven Messung. Zur Abschirmung wird mitunter Eisen dem Blei vorgezogen, da Eisen billiger und frei von natürlichen radioaktiven Strahlern ist. Letzteres spielt dann eine Rolle, wenn man sehr große Zählvolumina hat und den Untergrund sehr klein halten muß. Im Innern der M. befindet sich ein zweites, jedoch dünnwandiges Gehäuse, das im Falle von radioaktiver Verseuchung des M.-Innern ausgewechselt werden kann. Es besteht aus Metallen kleiner Ordnungszahl (Aluminium) oder aus Kunststoffen zur Vermeidung größerer Sekundärstrahlung im Gehäuseinnern. [16]

engl.: lead castle

franz.: chateau de plomb

Meßkanal, Zusammenfassung aller Meß- und Verstärkereinrichtungen, die zur Erzielung eines robusten technischen Meßsignals bestimmter physikalischer Meßgrößen oder ihres Zeitverhaltens dienen. Typische Beispiele in der Reaktorüberwachung sind die M.e zur

Anzeige des Neutronenflusses, der Reaktorperiode, der thermischen Leistung, der Radioaktivitäten und dgl. Häufig werden mehrere M.e in besonderen *Sicherheitsschaltungen parallel betrieben, d. h. dieselbe physikalische Meßgröße wird vom Meßort bis zum endgültigen Signal vollkommen getrennt gemessen und weitergeleitet. Vgl. dazu Auktionsschaltung, Zwei-von-drei-Schaltung. [9]

engl.: measuring channel *franz.: canal de mesure*

Lit.: M. A. Schultz, Control of Nuclear Reactors and Power Plants, McGraw-Hill, New York, 1955. – S. Glasstone, Principles of Nuclear Reactor Engineering, D. van Nostrand Comp., New York, 1955. – A. B. Gillespie, Proc. of the Ist. of El. Eng., Vol. 103, B, 564 (1956).

Messung, radiometrische, Strahlungsmessung. Grundsätzlich ist zu unterscheiden: die Messung der Zahl der Strahlungsquanten, der Energie der Strahlung und der Strahlenwirkung (Dosis, Dosisleistung). Bei der Auswertung solcher Zählergebnisse ist die Statistik der Strahlungsemission zu berücksichtigen. Die wichtigsten Meßgeräte der radiometrischen Praxis sind: Geiger-Müller-Zähler, Szintillationszähler, Ionisationskammer, Spaltkammer, Photoplatte. [16]

engl.: radiometric measurement
franz.: mesure de rayonnement

Meßverfahren, analytisch-quantitative, in der heißen Kernbrennstoffaufbereitungschemie unterscheiden sich von denjenigen der gewöhnlichen, nicht radioaktiven Chemie dadurch, daß nur diejenigen Untersuchungsmethoden angewandt werden können, die man fernbedient, besser noch möglichst vollautomatisch vornehmen kann. Die geforderten Genauigkeiten sind, da es sich oft um extrem kleine Konzentrationen handelt, weit höher als in der nicht-heißen Chemie. Zur Messung der prozentualen Isotopenzusammensetzung von Uran, bedient man sich gut auflösender Massenspektrometer. Die Messung der Dichte von Lösungen geschieht in den meisten Fällen mittels der „Tröpfchen-Fallmethode" und mit Hilfe der „Westphalschen Dichtewaage". Der p_H radioaktiver Lösungen wird mit Glas-Kalomel-Elektrodenketten bestimmt. Konzentrationsbestimmung von Säuren, Basen sowie verschiedener Elektrolyte erfolgt mittels potentiometrischer und

konduktometrischer Titration, seltener wird die volumometrische Titration angewandt. Die Konzentrationsbestimmung von Uran in Extrationslösungen erfolgt mittels fluophotometrischer Meßmethoden. Mittels der Messung der Dielektrizitätskonstante stellt man die Reinheit organischer Extraktionsmittel fest, z. B. die Reinheit von Tributylphosphat und Hexon. [22]

Metallabscheidung, elektrolytische, Aufbringen einer metallischen Schicht auf einen anderen metallischen Werkstoff, indem man diesen als Kathode in einen Elektrolyten bringt. Bei geeigneter Wahl des Elektrolyten, der Stromdichte und der Temperatur lassen sich festhaftende, dichte Schichten gleichmäßiger Dicke herstellen. [4]
engl.: electrolytic plating
franz.: électro galvanisation, dépôt électrolytique
Lit.: W. Pfanhauser, Galvanotechnik, AVG, Leipzig, 1941, 8. Aufl.

Metall-Hydride sind Stoffe der Zusammensetzung MeH_n mit $n = 1 \ldots 4$. M. finden beim Reaktorbau Verwendung als Moderator im Triga-Reaktor (Zirkonhydrid). Außerdem könnten Lithiumhydrid und Titanhydrid als teure Abschirmstoffe in Frage kommen. [26]
engl.: metal hydrides
franz.: hydrures métalliques

Metallkeramik, Bezeichnung für *Pulvermetallurgie. [4]

Metallkunde, die Wissenschaft, die sich mit der Erforschung der physikalischen und technischen Eigenschaften und mit dem atomistischen Aufbau der Metalle beschäftigt. Der Bereich der M. überschneidet sich mit den Gebieten der Festkörperphysik, Kristallographie, der physikalischen und anorganischen Chemie und der technologischen Werkstoffkunde. [4]
engl.: physical metallurgy
franz.: métallographie, métallurgie

Metallographie, Sondergebiet der *Metallkunde, das die Gefügeuntersuchungen umfaßt. [4]
engl.: metallography
franz.: métallographie

Metalloid, chemisches Element, das die charakteristischen Eigenschaften der Metalle (gute elektrische und thermische Leitfähigkeit, metallischer Glanz, Neigung zur Bildung elektropositiver Ionen) nicht aufweist. Die Trennungslinie zwischen Metallen und M.n, die nicht scharf angegeben werden kann, verläuft im periodischen System etwa bei den Elementen Bor, Silizium, Arsen, Tellur; die Elemente der Nebengruppen sind alle zu den Metallen zu rechnen. [4]
engl.: metalloid
franz. métalloïde

Metallurgie, Wissenschaft und Technik der Verhüttung von Erzen und der Produktion reiner Metalle und Legierungen. [4]
engl.: metallurgy
franz.: métallurgie

Metall-Wasser-Schild ist ein Schild der aus Wasser und einer Metallsalzlösung oder Metallschichten in Wasser besteht. Meistens ist dem Wasser Bor zugesetzt. [26]
engl.: metal water shield
franz.: écran à sels métalliques en solution aqueuse

Metaphase, Teilungsstadium des Zellkernes, s. Mitose. [28]
engl.: metaphase
franz.: métaphase

metastabil. Ein m.r Zustand ist ein solcher, der unter den gegebenen Bedingungen kein Gleichgewicht darstellt, aber nur unter Überwindung einer Energieschwelle in den Gleichgewichtszustand übergehen kann. Die freie Energie eines metastabilen Zustandes ist bezüglich der anderen möglichen Zustände ein relatives aber kein absolutes Minimum. – In der Praxis der Metallkunde haben die m.n Zustände eine große Bedeutung: z. B. ist die *Martensitstruktur des gehärteten *Stahles ein m.r Zustand des Eisen-Kohlenstoff-Systems. [4]
engl.: metastable
franz.: métastable

Metastase. Mit M. bezeichnet man die Verschleppung von Körperzellen in andere Körperbereiche, z. B.

durch die Blutbahn oder Lymphbahn. Letzteres bevorzugt von Krebszellen, die sich dann in den Lymphknoten festsetzen und hier Geschwülste (Lymphmetastasen) bilden. Beim Strahlenkrebs besteht eine besonders starke Neigung zur Metastasenbildung. [28]
engl.: metastasis
franz.: métastase

Methylenbromidzähler, s. Zählrohr.

METR-1. Abk. für *Materials Engineering Test Reactor,* einem Materialprüfreaktor für das belgische Atomforschungszentrum CEN in Mol. Wärmeleistung 25 000 kW, Brennstoff auf 90 % U-235 angereichertes Uran, Moderator Beryllium. Zu liefern von der Nuclear Development Corp. of America (USA) für Fertigstellung 1959. Wird auch als BR-2 *(Belgian Reactor No. 2)* bezeichnet. [24]

MeV. 1 MeV (Mega-Elektronenvolt) $= 10^6$ eV $=$ $1{,}602 \cdot 10^{-13}$ Joule ist die in der Kernphysik allgemein gebräuchliche Energieeinheit. [1]

MGCR, Abk. für *Maritime Gas Cooled Reaktor,* Projekt der USAEC und der amerikanischen Maritime Administration zur Entwicklung eines 15 MW gasgekühlten Hochtemperaturreaktors zum Antrieb eines Handelsschiffes als zweite Stufe des Atomprogramms für Handelsschiffe. Konstrukteur: General Dynamics Corp. [24]

MHz. 1 MHz (Megahertz) = 1 Million Hertz = 1 Million Schwingungen pro Sekunde ist die Frequenzeinheit für Hochfrequenz. [1]

Migrationslänge, s. Wanderlänge.

Mikrofelder im Plasma. Die M. im *Plasma ergeben sich dadurch, daß innerhalb eines gewissen Radius um ein betrachtetes Ion die Zahl der positiven und negativen Ladungsträger nicht gleich ist. Außerhalb von diesem Radius muß Ladungsgleichheit wegen der Forderung der Quasineutralität herrschen. Eine strenge Behandlung dieses Problems müßte von der Lösung der *Liouville-Gleichung für das Gesamtsystem einer bestimmten Anzahl von Elektronen, Ionen und Atomen ausgehen. Dies ist bis jetzt noch

nicht durchgeführt worden. Man kann jedoch unter Einführung vereinfachender Annahmen zeigen, daß für das Potential der Ladungsverteilung die Poisson-Boltzmannsche Gleichung

Mikrofelder im Plasma

$$\Delta\varphi = -\frac{4\pi e}{\varepsilon}\cdot\sum_i n_i Z_i \cdot e^{-\frac{e\varphi Z_i}{kT}}$$

resultiert. Dies führt dann zur Debye-Hückelschen Theorie starker Elektrolyte. Es gibt eine Reihe von Einwänden gegen diese Theorie; jedoch wurde sie in vielen Fällen in der Chemie mit Erfolg angewandt. Man kann ferner argumentieren, daß diese Theorie für punktförmige Ladungsträger weniger von der strengen Lösung abweicht als für ausgedehnte Ionen. Aus dieser Theorie folgt für das Potential eines betrachteten Ions (r Koordinate der intermolekularen Distanz)

$$V(r) = \frac{e^{-\varkappa r}}{r},$$

wobei

$$\varkappa^2 = \frac{4\pi e^2}{\varepsilon}\,\frac{\sum n_i Z_i^2}{kT}$$

ist (e Elementarladung, ε Dielektrizitätskonstante, n Teilchendichte, Z Ionenladungszahl, T Temperatur). Der reziproke Wert von $\varkappa$ hat die Dimension einer Länge und wird Debye-Radius genannt. In der nachstehenden Tabelle sind einige Werte für $\varkappa$ im Falle eines Wasserstoffplasmas bei einem (konstanten) Druck von 1 at angegeben.

Temp. [°K]	10^5	10^6	10^7	10^8	10^9
$\varkappa$ [cm^{-1}]	$1{,}24\cdot10^5$	$1{,}24\cdot10^4$	$1{,}24\cdot10^3$	$1{,}24\cdot10^2$	$1{,}24\cdot10^1$

Der Debye-Radius ist ein Maß für den Bereich, in dem die Zahl der positiven Ladungsträger merklich von der der negativen abweichen darf, ohne daß die Bedingung der Quasineutralität verletzt wird. Er bezeichnet die Stelle, an der die potentielle Energie der Wechselwirkung gerade ebenso groß wie die mittlere thermische Energie der Ladungsträger ist.
Aus der Debye-Hückelschen Theorie ergeben sich dann

weiter die Beiträge der elektrostatischen M. im Plasma zu den thermodynamischen Zustandsgrößen. Es ist

$$F_{\mathrm{el}} = -\frac{e^2 \varkappa}{3\,\varepsilon} \sum_i N_i Z_i^2$$

(N_i Gesamtteilchenzahl des Systems) der elektrostatische Anteil der freien Energie,

$$G_{\mathrm{el}} = -\frac{e^2 \varkappa}{2} \sum_i N_i Z_i^2$$

derjenige der freien Enthalpie, und

$$U_{\mathrm{el}} = -\frac{e^2 \varkappa}{2} \sum N_i Z_i^2$$

der elektrostatische Anteil der inneren Energie. Die Zustandsgleichung des Plasmas folgt zu

$$\frac{p\,V}{\sum\limits_i N_i k\,T} = 1 - \frac{e^2 \varkappa}{6\,\varepsilon\,k\,T} \frac{\sum\limits_i N_i Z_i^2}{\sum\limits_i N_i}$$

Mit Hilfe dieser Theorie kann man ferner noch das Massenwirkungsgesetz und die Gleichgewichtskonstanten für chemische Reaktionen (Ionisierung) in Plasmen im Gleichgewicht angeben. [27]

engl.: microfields in a plasma

franz.: microchamps du plasma

Lit.: A. Münster, Statistische Thermodynamik, Springer, Berlin, 1956. – G. Baumann, Dissertation TH Stuttgart, 1956. – H. J. Kaeppeler, Mitt. Forsch. Inst. f. Physik d. Strahlantriebe, Nr. 15 (Anhang), Stuttgart, 1958.

Mil, engl. Maßeinheit verschiedener Bedeutung. Es ist 1 mil

1. = 1/1000 Zoll = 0,0254 cm.

2. = 1/1000 Dollar $\sim$ 0,42 Pfennigen. Diese Einheit wird bei der Berechnung von Stromkosten benutzt.

3. Flächenmaß für den Querschnitt elektrischer Leiter. Die Fläche eines runden Leiters von $n/1000$ Zoll Durchmesser besitzt einen Querschnitt von n^2 *circular mils* (Definition von c. m.). In Amerika übliches Drahtstärkemaß. [6]

Millicurie-Tag ist die Einheit für das Produkt aus der Aktivität eines Isotops in mc (Millicurie) und seiner Halbwertszeit in Tagen. Nach DIN 6843 (offene radioaktive Präparate) bestehen für den Gebrauch von

offenen radioaktiven Isotopen bei Halbwertszeiten $\leq$ 2,5 Jahre keine besonderen Vorschriften, falls 1 mc-Tag nicht überschritten wird. Für größere Halbwertszeiten ist DIN 6843 für Aktivitäten über 1 μc (Mikrocurie) voll gültig. Diese Regelung birgt eine große Gefahr in sich, da Isotope mit extrem kurzen Halbwertszeiten meist sehr energiereiche Strahlung emittieren und somit große Aktivitäten bei sehr energiereicher Strahlung unüberwacht bleiben dürfen. S. a. Präparat, offenes. [28]
engl.: Milligoat counter
franz.: compteur de Milligoat

Milligoat-Zähler, ein Zählrohr, das die auftreffende Strahlung vollkommen richtungsunabhängig anzeigt und dabei keine Eigenabschirmung aufweist. [26]
engl.: milligoat counter

Milnesches Problem, eine der Grundaufgaben der *Transporttheorie. In der einfachsten Formulierung ist ein unendlicher Halbraum, erfüllt von einem homogenen, quellenfreien Medium gegeben, der an das Vakuum grenzt. Gefragt ist nach dem sich im Medium einstellenden Neutronenfluß, wenn von der Seite des Vakuums keine Neutronen durch die Grenzfläche treten und nur aus unendlich fernen Gebieten des Mediums ein Neutronenstrom herkommt. Die Lösung dieses Problems liefert die transporttheoretische *Extrapolationslänge, die bei genauerer Rechnung an Stelle der sich aus der Diffusionstheorie ergebenden genommen wird.
Das M. kann auch in allgemeinerer Form gestellt werden, indem man z. B. im Vakuum eine Quelle annimmt und nach der Zahl der vom Medium reflektierten Neutronen fragt (*Albedo-Problem). Eine weitere Verallgemeinerung ergibt sich, wenn man auch den zweiten Halbraum als erfüllt von einem Medium annimmt. Die Lösung dieses Problems gibt Hinweise dafür, wie die Grenze zwischen zwei Medien in der Diffusionstheorie behandelt werden soll. Schließlich kann man noch Absorption und Multiplikation von Neutronen zulassen. [13]
engl.: Milne's problem *franz.: problème de Milne*
Lit.: B. Davison, Neutron Transport Theory, Clarendon Press,

Oxford, 1957. – Peaceful Uses of Atomic Energy, Bd. 5, Beiträge P/796 und P/655, Genf, 1955.

Mindestrücklaufverhältnis, s. Rektifikation.
engl.: minimum reflux *franz.: reflux minimum*

Mischen, s. Rühren. Wenn es sich darum handelt, Gase miteinander oder mit Flüssigkeiten zu mischen, verwendet man häufig Mischdüsen (einfachste Form ist der Bunsenbrenner) oder Einrichtungen zur Flüssigkeitszerstäubung (z. B. Ölbrenner). [2]
engl.: mixing (agitating, stirring, kneading, beating)
franz.: mélanger

Mischkristall (feste Lösung), homogene Kristallphase, die aus mehreren Komponenten aufgebaut ist. Begrenzte Mischkristallbildung (z. B. in einem Zweistoffsystem) liegt vor, wenn das Gitter der einen Komponente die Atome der anderen Komponenten nur bis zu einer gewissen Konzentration aufnehmen kann; gibt es eine solche Grenze nicht, so spricht man von einer lückenlosen Mischkristallreihe zwischen den Komponenten (*Isomorphie). Man unterscheidet Einlagerungsmischkristalle und Substitutionsmischkristalle. Bei Einlagerungsmischkristallen befinden sich die Atome der zweiten Komponente auf den *Zwischengitterplätzen des Gitters der ersten Komponente; bei Substitutionsmischkristallen ersetzen sich die Atome der beiden Komponenten auf regulären Gitterplätzen. – Härte, Festigkeit und elektrischer Widerstand nehmen durch Mischkristallbildung stark zu. [4]
engl.: solid solution
franz.: cristal mixte, solution solide

Mitfällung, Fällungsmethode zur Entfernung unwägbarer (radioaktiver) Substanzen aus einer Lösung durch Ausfällung einer ausreichenden Menge nichtisotoper Trägerionen.
Die Bedingungen für die Mitfällung sind nach O. Hahn: Bildung von echten oder anomalen Mischkristallen. Möglichkeit einer Oberflächenadsorption oder eines inneren Einbaus in den Trägerkristall. [3]
engl.: coprecipitation *franz.: co-précipitation*

Mitose, ein Zellkernteilungstyp, welcher zur Bildung zweier erbgleicher Tochterzellen führt. Die Einteilung

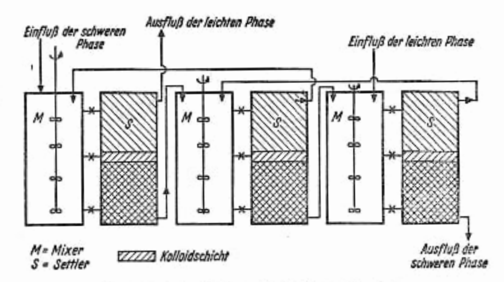
erfolgt in vier Phasen, welche nicht genau gegeneinander abgrenzbar sind. Den Ausgangspunkt bildet der Ruhekern, welcher in der P r o p h a s e eine Zunahme des Kernvolumens zeigt, welche bedingt ist durch eine Zunahme der Karyolymphe. Gleichzeitig beginnen sich die Chromosomen, von denen jeder Typ wenigstens zweimal vorhanden ist (homologe Chromosomen), aufzuspiralisieren, damit gleichzeitig zu verkürzen und zu verdicken. In der späten Prophase wird eine Längslichtung in den Chromosomen sichtbar; die Kernmembran löst sich auf. Gleichzeitig beginnt die Spindelbildung und der zu Beginn der M. große Nucleolus wird sichtlich kleiner bzw. zerfällt. Im folgenden Stadium der M e t a p h a s e haben sich die Chromosomen weiterhin durch die Aufspiralisation maximal verkürzt und verdickt; sie ordnen sich in einer bestimmten Zellebene, der sogenannten Äquatorialebene ein. Gleichzeitig wird die Längslichtung der Chromosomen zum Längsspalt, so daß jede Chromosomenspalthälfte (Chromatide) bis auf die Spindelfaseransatzstelle (Centromer, Comissur, Insertionsstelle) selbständig ist. In der A n a p h a s e teilen sich die Centromere; durch den Spindelmechanismus werden die nun selbständigen Chromatiden (Tochterchromosomen) auf die beiden Pole alternativ verteilt. Bereits in der Anaphase wird der Chromosomenlängsspalt für die nächste Kernteilung ausgebildet, ebenso beginnt die Neubildung der Nucleolen an den sog. SAT-Chromosomen. Die in der T e l o - p h a s e an den Polen angekommenen Tochterchromosomen entspiralisieren sich mehr oder weniger, nehmen Ruhekernstruktur an und werden in einer neuen Kernmembran eingeschlossen.
Die P r o p h a s e ist das strahlenempfindlichste Stadium einer Zelle (Unterbrechung des Kernteilungsvorganges und damit Wachstumsverzögerung bzw. -verhinderung eines Gewebes). [28]
engl.: mitosis *franz.: mitose*

Mittelwertmesser, Gerät zur Anzeige der im Durchschnitt vorhandenen Impulsrate. Durch elektrische oder elektromechanische Summierung werden die innerhalb eines bestimmten Zeitraumes in statistischer Folge auftretenden Zerfallsereignisse zu einem An-

zeigewert gesammelt, der dem zeitlichen Mittelwert, der mittleren Impulsfrequenz, entspricht. S. auch Dosisleistungsmesser. [6]
engl.: (counting-) rate meter
franz.: indicateur de valeur moyenne

Mittelzeitverhalten des Reaktors, Verhalten des Kernreaktors in mittleren Zeiträumen von Stunden bis Tagen, in denen sich bei starker Leistungsänderung die Vergiftung des Reaktors auswirkt. [13]

Mixer Settler, verfahrenstechnische Bezeichnung engl. Ursprungs für Extraktionsapparate, mit deren Hilfe man eine innige Berührung zweier miteinander nicht mischbarer flüssiger Phasen zum Zwecke der Flüssig-Flüssig-Extraktion erreicht. Die Speiselösung pflegt anorganischer, das Extraktionsmittel organischer Natur zu sein, Im M. S. unterscheidet man grundsätzlich folgende zwei Vorgänge: erstens innige Dispersion und inniger Kontakt der beiden nicht miteinander mischbaren Flüssigkeiten („mixing"), zweitens Trennung der beiden Phasen auf Grund ihrer Unmischbarkeit und ihres Dichteunterschiedes. In der Praxis werden diese beiden Vorgänge meistens in getrennten Behältern durchgeführt. Um eine gute Extraktion zu erreichen pflegt man mehrere dieser Doppelzellen in Reihe hintereinander zu schalten. Es muß darauf geachtet werden, daß keine Emulgierung der organischen Phase in der wäßrigen Lösung eintritt, diese kann durch entsprechenden Fluß des Extraktionsmittels (Rückführung des organischen Extraktionsmittels usw.) erreicht werden. Ein M. S. konventioneller Bauart be-



Schema eines Holley-Mott Mixer-Settlers

steht aus einem geschlossenem Mischbehälter (mixer), dessen Inhalt mittels mechanischer Rührung innig durchmischt und aufgewirbelt wird, der zweite Absitzbehälter (settler) ist von der gleichen Bauart, nur fehlt hier der Rührer. Bei Hintereinanderschaltung mehrerer M. S. zu einer Kaskade wird stets ein Teil des Extraktionsmittels aus dem Absitzbehälter in die Mischbehälter zurückgeführt, die schwerere Phase fließt mittels Schwerkraft in den nachfolgenden Mischbehälter, während die leichtere Phase mittels einer Pumpe in den nachfolgenden Mischbehälter befördert werden muß (s. Abb.). Diese verhältnismäßig einfache und durchsichtige Extraktionsmethode fand in der Zwischenzeit verschiedene Ergänzungen und Modifikationen. So werden neuerdings beide Vorgänge des Mischens und des Absitzens in einem Gefäß mit Hilfe einer bestimmten Bauart der Gefäße und der Wahl und Anordnung spezieller Pumpen und Rührer erreicht. S. a. Solventextraktion. [22]

mME, s. ME

MO-Beton besteht aus MgO, $MgCl_2$, Stahlstücken verschiedener Größe und Wasser. Dieser B. ist nicht sehr witterungsbeständig. Seine Dichte ist etwa 5,5 g/cm³, seine Zusammensetzung in Gew.-%: 84 % Fe (in Stahlstücken); 10 % O; 3,5 % Mg; Rest: Cl und H. S. Schwerbeton. [26]

engl.: MO-concrete *franz.: béton MO*

Moderator. Eine Substanz, die Neutronen hoher Energie auf geringere Energien abbremst, heißt M. Solche werden in allen thermischen Reaktoren benutzt. Denn die bei der Kernspaltung entstehenden Neutronen mit einer Energie um 2 MeV müssen auf thermische Energien ($\approx$ 0,025 eV) abgebremst werden, weil eine Kettenreaktion mit schnellen Neutronen in natürlichem oder leicht angereichertem Uran nicht aufrechterhalten werden kann. Bremst man dagegen auf thermische Energien ab, so nützt man den großen thermischen Spaltquerschnitt aus. Ein M. erfüllt seine Aufgabe um so besser, je schneller er abbremst und je weniger Neutronen er absorbiert. Eine schnelle Abbremsung ist nötig, um die Resonanzstellen im Uran, die Neutronen wegfangen, nach Möglichkeit zu über-

springen (s. Resonanzeinfang). Ein Maß für die Güte eines M.s ist das Bremsverhältnis $\xi \Sigma_s/\Sigma_a$, wobei ξ den logarithmischen Energieverlust (s. Bremsung) bedeutet.

Die in den heutigen Reaktoren gebräuchlichen M.n und einige ihrer Eigenschaften sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Moderator	ξ	$\xi \frac{\Sigma_s}{\Sigma_a}$	Dichte	Fermi-Alter
H_2O	0,93	70	1,00	33
D_2O	0,51	21 000	1,10	120
Be	0,206	150	1,84	98
BeO	0,17	180	2,80	110
C	0,158	170	1,62	350

Der kernphysikalisch und technisch weitaus günstigste und bequemste M. ist das schwere *Wasser. Seiner großen Kosten wegen wird es bei Leistungsreaktoren durch gewöhnliches Wasser ersetzt. Jedoch hat sowohl D_2O wie H_2O einige Eigenschaften, die sich beim Bau eines Leistungsreaktors, bei dem man hohe Temperaturen anstrebt (500 ... 600°), ungünstig bemerkbar machen. Vor allem begrenzt die kritische Temperatur von 370 °C die Betriebstemperatur bei wassermoderierten Reaktoren praktisch bei 300 °C, wenn man nicht unrentabel hohe Drucke in Kauf nehmen will. Ein weiterer Nachteil liegt in der Korrosion, die das Wasser an den Brennstoffelementen bewirkt. Außerdem wird durch die im Reaktor entstehende γ-Strahlung das Wasser in Sauerstoff + Wasserstoff bzw. Deuterium zerlegt, so daß beträchtliche Mengen Knallgas im Reaktor entstehen (s. Radiolyse).

Als flüssige M.n, die obige Nachteile nicht oder nur in geringem Maße haben, empfehlen sich organische Substanzen mit sehr hochliegendem Siedepunkt. Als Beispiel sei hier *Diphenyl genannt. Bei dieser Substanz braucht man z. B. selbst bei 400 °C nur einen Druck von 15 Atmosphären, um den flüssigen Zustand aufrecht zu erhalten, während Wasser bei dieser Temperatur nicht mehr zu verflüssigen ist.

Da Diphenyl nur sehr schwer heteropolare Verbindungen eingeht, bewirkt es nahezu keine Korrosion. Leider sind jedoch Wärmeübergang, spezifische Wärme und hohe Viskosität ungünstig.
Bei den festen Moderatoren *Beryllium und *Graphit, die bei der Verwendung von Natururan für heterogene Reaktoren möglich sind, kommt man wegen der schlechten Bremsung immer zu relativ voluminösen Reaktoren. Zwecks Kühlung muß man entweder wieder zu Wasser oder zur *Gaskühlung (CO_2) greifen. [7]
engl.: moderator *franz.: modérateur*

Moderator, organischer. Aromatische Kohlenwasserstoffe der Polyphenylreihe (Diphenyl, Terphenyl ....) können wegen ihrer großen Strahlungsstabilität als M.n und Kühlmittel in Reaktoren verwendet werden. Die Korrosion ist sehr gering. Da diese Verbindungen nur Kohlenstoff und Wasserstoff enthalten, werden sie durch die Neutronenstrahlung kaum aktiviert. Es kommen hauptsächlich in Frage:

	Schmelzpunkt °C	Siedepunkt °C
*Diphenyl (auch *Diphyl)	70	255
o-*Terphenyl	58	332
m-*Terphenyl	89	363
p-*Terphenyl	213	420
p-*Quarterphenyl	318	428 (bei 18 Torr)

Diese Substanzen haben gegenüber Wasser den Vorzug, daß sie auch bei höheren Temperaturen keine nennenswerten Drucke erzeugen. Sie weisen also den Vorzug der flüssigen Metalle als Kühlmittel auf, ohne jedoch *Strukturmaterialien und Brennstoff anzugreifen. Die beobachteten Wärmeübergangszahlen sind allerdings unter sonst gleichen Bedingungen geringer als bei den üblichen Kühlmitteln. Die in erträglichem Maße stattfindende Zersetzung der Verbindungen in Teerprodukte und Wasserstoff macht eine kontinuierliche Aufbereitung der Flüssigkeit notwendig.
S. a. Polyphenyle. [18, 20]
engl.: organic moderator
franz.: modérateur organique

Moderator-Brennstoff-Verhältnis ist eine für den Neutronenhaushalt und die Sicherheit eines Reaktors

wichtige Größe. Ist sie zu groß, so wirkt eine gewisse Moderatormenge überwiegend als Neutronenabsorber, verringert also die Reaktivität. Wird in einem derartigen Reaktor plötzlich der Moderator aus der Spaltzone entfernt – z. B. ein bei Wasserreaktoren denkbarer Unfall –, so wird er überkritisch, was aus Sicherheitsgründen vermieden werden soll. Ist das Verhältnis zu klein, so verliert man wegen mangelhafter Moderierung auch an Reaktivität, die Sicherheit wird jedoch nicht gefährdet. Für die verschiedenen Reaktortypen beträgt der günstigste Wert dieser Größe etwa:

	V_M/V_U
Uran-Graphitreaktor:	40–60
Uran-H_2O-Reaktor:	2–3
Uran-D_2O-Reaktor:	20–30
Uran-Na-Reaktor:	~24
Uran-org. moderiert:	~7

[21]

engl.: moderator-fuel-ratio
franz.: rapport modérateur-combustible

Moderatorspiegel-Absenkung, s. Moderatorspiegel-Trimmung.

Moderatorspiegel-Trimmung, bei flüssigem Moderator Methode zur *Grobsteuerung der Reaktivität, bei der lokale Verzerrungen des Neutronenfeldes und damit u. U. verknüpfte Materialbelastungen (unsymmetrische Spannungen und Strukturänderungen durch Temperatur- und Strahlungseffekte) vermieden werden.
Die Nachteile sind nichtlineare Eichkurve und kleine Wirksamkeit, schwierige Stellungsregelung bei gleichzeitigem Kühlumlauf, starke Steigerung der mittleren Leistungsdichte, ungleichmäßige Brennstoffausnutzung, nur relativ langsame Schnellabschaltmöglichkeit (ca. zehnmal langsamer als bei Absorberstäben). Als Maß für die Wirksamkeit kann gelten, daß die Reaktivitätsverminderung bei einem zylindrischen Reaktor von optimaler Gestalt erst bei halber Höhe des Spiegels annähernd gleich dem Reaktivitätsüberschuß $(k_\infty - 1)$ wird. Dazwischen gilt, wie die exakte Formel

$$(1 - k) = \frac{k_\infty - 1}{3} \cdot \frac{(H_0/H)^2 - 1}{1 + \frac{1}{3}(k_\infty - 1)\,[2 + (H_0/H)^2]}$$

zeigt, ein zunächst nur langsamer, annähernd quadratischer Anstieg für die negative Reaktivität. [9]
engl.: moderator level shimming
franz.: réglage par niveau du ralentisseur
Lit.: s. Konzentrationstrimmung.

Moderatorwärme, s. Nachtrag.

Modulation, Änderung eines oder mehrerer Parameter eines sinusförmigen oder impulsförmigen Wechselstromes. Bei sinusförmigen Wechselströmen, deren Momentanwert i nach dem Gesetz $i = J_0 \sin(\omega t + \varphi)$ verläuft, bestehen Änderungsmöglichkeiten 1. für J_0 (Amplitudenmodulation), 2. für ω (Frequenzmodulation), 3. für φ (Phasenmodulation). Bei Impulsen kann deren Amplitude, Breite, Folgefrequenz und Phase geändert werden. Die frequenz- oder phasenmodulierten Ströme sind bei der Übertragung von Meßwerten nur geringen Störungen unterworfen. [6]
engl.: modulation *franz.: modulation*

Mol, s. Molvolumen.

Mol, Standort des staatlichen belgischen Forschungsinstituts für angewandte Kernenergie. Standort des ersten sowie weiterer geplanter Atomreaktoren in Belgien (BR-1) und der Europäischen Aufbereitungsanlage für bestrahlte Kernbrennstoffe (Eurochemic) der OEEC. [24]

Molekulardestillation, s. Destillation.
engl.: molecular destillation
franz.: distillation moléculaire

Molekulargewicht. Als M. wird die Summe der Atomgewichte aller ein Molekül bildenden Atome bezeichnet. Es stellt also die Masse des Moleküls (bzw. wenn Isotope eine Rolle spielen, eines „durchschnittlichen" Moleküls) dar, bezogen auf das „durchschnittliche" Sauerstoffatom mit dem Atomgewicht 16. So ist z.B. das M. des Wasserstoffs H_2 gleich $2 \cdot 1{,}008 = 2{,}016$; das M. des Sauerstoffs O_2 gleich $2 \cdot 16{,}00 = 32{,}00$; das M. der Salpetersäure HNO_3 gleich

$$1{,}008 + 14{,}008 + 3 \cdot 16{,}00 = 63{,}016.$$

Die M.e mancher Riesenmoleküle organischer Substanzen gehen in die Millionen. Da nach dem Avoga-

d r o schen Gesetz alle Gase unter Normalbedingungen gleich viel Moleküle in cm^3 enthalten, läßt sich das M. am einfachsten aus der Dichte des betreffenden Stoffs im Gaszustand (Gasdichte, Dampfdichte) ermitteln. Weitere Bestimmungsmöglichkeiten liefern nach den einfachen Gesetzen verdünnter Lösungen der osmotische Druck, die Gefrierpunktserniedrigung und die Siedepunktserhöhung von Lösungen. [1]
engl.: molecular weight *franz.: poids moléculaire*

Molekularreaktion, Reaktion, die bei der radiolytischen Zersetzung zu Molekülen führt. Speziell wird dieser Ausdruck für die Wasserzersetzung durch ionisierende Strahlen gebraucht, bei der Wasserstoffperoxyd und Wasserstoff gebildet werden.

$$2\,H_2O \rightarrow H_2O_2 + H_2\,.$$

Die M. tritt besonders bei hoher Ionisationsdichte in Erscheinung, bei denen große Konzentrationen von OH-Radikalen gebildet werden. Diese rekombinieren dann untereinander:

$$2\,OH \rightarrow H_2O_2\,,$$

so daß der *Radikalreaktion nur geringe Bedeutung zukommt. [18]
engl.: molecular reaction
franz.: réaction moléculaire

Molekülgitter, ein Kristallgitter, in welchem die Moleküle noch klar erkennbare und insbesondere auch dynamisch enger verbundene Gruppen bilden, im Gegensatz zum Atomgitter und zum Ionengitter. M. bilden vor allem die meisten organischen Substanzen. Von einfachen anorganischen Stoffen ist Kohlensäure CO_2 und Quecksilberchlorid $HgCl_2$ zu erwähnen. [1]
engl.: molecular lattice *franz.: réseau moléculaire*

Molvolumen, das von einem Grammolekül (Mol) eines Stoffes eingenommene Volumen. Unter Normalbedingungen (0 °C und 1 at) nimmt 1 Mol eines beliebigen Gases ein M. von 22,415 l (22,421 l) ein, wenn man das Grammolekül in der chemischen (physikalischen) Skala (s. ME) mißt. [13]
engl.: mole volume *franz.: volume molaire*

Molybdän (Mo), Schwermetall mit der Dichte 10,2; Ordnungszahl 42, Atomgewicht 96. Schmelzpunkt un-

gefähr 2630 ± 40 °C, Siedepunkt ungefähr 4800 °C. Absorptionsquerschnitt für thermische Neutronen $\Sigma_a = 0{,}15\ \mathrm{cm}^{-1}$. Kristallstruktur: kubisch raumzentriert.
Die Herstellung des Metalls erfolgt vorwiegend auf *pulvermetallurgischem Weg. Mo ist ein wichtiges Legierungselement von Qualitätsstählen. Außerdem findet es Verwendung in der Hochvakuumtechnik (hohe Warmfestigkeit, niedriger Dampfdruck), im elektrischen Schalterbau, für Hochtemperaturtriebwerke und in elektrischen Hochtemperaturöfen. [4]
engl.: molybdenum
franz.: molybdène

Momentenmethode, s. Gradsche Lösung.

Monazit, eines der wichtigsten *Lanthanidenmineralien, hauptsächlich aus $CePO_4$ bestehend. Von größerer Bedeutung, als die M.-Lager in Südnorwegen für die Industrie der Seltenen Erden ist jedoch der vor allem in Ceylon, Brasilien und den U.S.A. vorkommende M.-Sand. M. enthält vor allem die leichteren Lanthanidenelemente, die Ceriterden, mit geraden Ordnungszahlen. [3]
engl.: monazite
franz.: monazite

Moncloa, Standort der neuen Atomforschungsanlagen mit geplanten Forschungsreaktoren der staatlichen spanischen Atomenergiekommission (Junta de Energia Nuclear) bei Madrid. [24]

Monelmetall, eine korrosionsfeste, zähe Legierung aus 67 % Ni, 27 % Cu, Eisen und Mangan. Monel wird als Konstruktionswerkstoff für hochbeanspruchte Teile verwendet; es kommt u. U. auch für den Reaktorbau in Betracht. [4]
engl.: monel metal
franz.: monel

Monitor, Nachweisgerät für Strahlung zwecks Kontrolle der Konstanz des Strahlungsflusses, bei dem im Ionisationsraum beliebiges Füllgas verwendet werden kann. Man unterscheidet zwischen reinen Strahlenmonitoren für Beta-, Gamma- und Neutronenstrahlen und M. zum Nachweis eingelagerter Radioaktivitäten (Verseuchungen), in Gasen oder Flüssigkeiten. S. a.

*Luftmonitorgerät, Strahlungsüberwachung, nukleare Meßgeräte. [9, 28]

engl.: monitor *franz.: monitor, contrôleur*

Monitorgebläse. Homogene Reaktoren haben meistens unter dem eigentlichen Reaktor einen gasdichten Raum, in dem u. a. der Rekombinator und der Wärmeaustauscher enthalten sind. Die Aktivität dieses Raumes wird durch ein M. überwacht. Die Luft wird aus einer Ecke des Raumes abgesaugt, an einer Ionisationskammer vorbeigeführt und dann wieder in den Raum zurückgeführt. [19]

engl.: monitor fan

Monobutylphosphat, s. MBP und TBP.

Monochromator, mechanischer, s. Nachtrag.

Monoklin, s. Kristallstruktur.

engl.: monoclinic *franz.: monoclinique*

Monte-Carlo-Methode, in der Reaktortheorie ein Verfahren zur näherungsweisen Berechnung von Diffusionsproblemen mit Hilfe von statistischen Experimenten. Es sei z. B. die Neutronenverteilung in einem multiplizierenden homogenen und kugelförmigen Medium zu berechnen. Man kann das Schicksal eines zufällig herausgegriffenen Neutrons verfolgen. Dazu hat man zunächst drei Koordinaten und drei Komponenten der Flugrichtung zu wählen. Die gewählten Variablen müssen innerhalb der durch die Problemstellung vorgeschriebenen Grenzen liegen. Die Zufälligkeit der Wahl wird dadurch sichergestellt, daß z. B. eine der (gleichwahrscheinlichen) Zahlen des Intervalls 0 . . . 1 gewählt wird, worauf durch eine stochastische Transformation der entsprechende Wert der betreffenden Koordinate usw. bestimmt wird. Ist z. B. das betrachtete Neutron thermisch, so entstammt es einer Maxwell-Verteilung und durch die stochastische Transformation wird dafür gesorgt, daß die Gewichte der gewählten Geschwindigkeiten richtig verteilt sind.

Durch weitere Zufalls-Zahlen wird nun bestimmt, wie weit das Neutron fliegen und was am Ende dieser Strecke geschehen soll (Einfang, Spaltung, Streuung). Sodann wird der weitere Weg des Neutrons (bzw. der entstehenden Spaltneutronen) durch erneutes Ziehen von Zufalls-Zahlen festgelegt. Auf diese Weise ergibt

sich ein Zickzack-Weg, der entweder aus dem gegebenen Volumen hinausführt oder in einem Kern endet oder sich verzweigt.
Wiederholt man diese Prozedur viele zehntausendmal, so ergibt sich eine Dichteverteilung der Einfang- und Spaltakte bzw. die Zahl der den Reaktor verlassenden Neutronen. Daraus wiederum kann man ermitteln, ob die Anordnung kritisch ist usw.
Die M. kann nur mit Hilfe einer außerordentlich schnell arbeitenden elektronischen Rechenmaschine effektiv angewendet werden, da ihre Genauigkeit mit der Zahl der Versuche wächst. Stehen derartige Maschinen zur Verfügung, so kann man damit – im Prinzip – beliebig verwickelte Diffusionsprobleme in Angriff nehmen. Mit der M. ist die angewandte Mathematik gewissermaßen aus der Manufakturperiode in ihr industrielles Zeitalter eingetreten. [13]
engl.: Monte Carlo method
franz.: méthode de Monte Carlo
Lit.: Nucleonics 15, 64, Mai 1957. – B. Davison, Neutron Transport Theory, Clarendon Press, Oxford, 1957. – Symposion on Monte Carlo Methods, J. Wiley, New York, 1954.

Mörtel ist ein Gemisch aus einem Bindemittel (meist Zement), Sand und Wasser. [26]
engl.: plain cement *franz.: mortier*

Moseleysches Gesetz. Die schon von Barkla erkannte Tatsache, daß die Härte der charakteristischen Röntgen-Strahlung der Elemente mit steigender Ordnungszahl regelmäßig und monoton anwächst, wird im M. G. quantitativ dahin gefaßt, daß die Frequenz ν einer bestimmten Linie der K-Serie des charakteristischen Röntgen-Spektrum, z. B. der K_α-Linie, nahezu proportional mit dem Quadrat der Ordnungszahl geht (Moseley, 1913).
Genauer ist das M. G. in der Form

$$\nu = C R (N - s)^2$$

formuliert, worin R die Rydberg-Konstante, N die Ordnungszahl, s eine Art Abschirmungszahl, die für die K_α-Linie etwa den Wert 1 hat, und C einen Zahlenfaktor (für die K_α-Linie ist $C = {}^3/_4$) bedeuten. [1]
engl.: Moseley law
franz.: loi de Moseley

Mottsche Streuformel

Mottsche Streuformel dient zur Berechnung der Streuung geladener Teilchen (α-Teilchen) am Atom. S. Streuformel. [7]
engl.: Mott formula
franz.: formule de Mott

Mound Laboratory, Forschungs- und Entwicklungslaboratorium der amerikanischen Atomenergiekommission (USAEC) in Miamisburg, Ohio. Betrieben durch Monsanto Chemical Co. [24]

MTR (Materials Testing Reactor), Standort National Reactor Testing Station Arco, Idaho, USA. Der MTR ist ein leichtwasser-moderierter und gekühlter, thermischer, heterogener Forschungsreaktor und arbeitet seit 1952 mit 90 % angereichertem Uran, ab Aug. 1958 mit Plutonium (s. u.). Er dient hauptsächlich zur Materialuntersuchung und hat dazu hohen Neutronenfluß. Bei 40 MW Leistung beträgt der thermische Anteil $5{,}5 \cdot 10^{14}$ n/cm^2 s, der schnelle Fluß ist $3 \cdot 10^{14}$ n/cm^2 s maximal. Der Vorteil hochangereicherten Urans ist, daß man schon mit kleinen Reaktoren hohe Neutronenflüsse erzeugen kann. Dieser ist praktisch nur durch die Strahlungskorrosion der Brennstoffelemente, Vergiftung durch Spaltprodukte (Xe, Sm) und die nicht in beliebiger Menge abführbare Wärme begrenzt. Abb. 1 zeigt einen Schnitt durch den Reaktor. Die Spaltzone des Reaktors ($40 \times 70 \times 60$ cm^3) enthält normalerweise drei Reihen (maximal fünf Reihen) zu je neun Brennstoffelementen. Nicht besetzte Plätze werden mit Be-Reflektorelementen beschickt. Diese Anordnung ist von einem inneren Reflektor aus Beryllium umgeben. Das Ganze steht in einem wassergefüllten Al-Tank mit 1,4 m Durchmesser. Die MTR-Brennstoffelemente sind Al-Kästen, Querschnitt $7{,}6 \times 8{,}1$ cm^2, Länge 61 cm, mit 18 (evtl. 19 je nach Typ) Brennstoffplatten aus U-Al-Legierung, beidseitig Al-plattiert, $0{,}5 + 0{,}5 + 0{,}5$ mm stark (Sandwich), Zwischenraum 3 mm. Der U-235-Gehalt pro Brennstoffelement ist 140 bis 200 g, insgesamt etwa 4,5 kg; die kritische Masse ist 3 kg. Um den Al-Tank sind zwei Graphitreflektoren herumgelegt, der innere besteht aus 700 000 Graphitkügelchen mit 2,5 cm Durchmesser, um die durch Neutronenbestrahlung auf-

phits (*Wigner-Effekt) und die bei dichter Packung auftretenden hohen Drucke abfangen zu können, der äußere Reflektor ist aus Graphitziegeln aufgebaut. Der Durchmesser dieser Anordnung beträgt 3,75 bis 4,25 m. Hieran schließen zwei Schichten Stahlplatten von je 10 cm Stärke mit 10 cm Zwischenraum an, durch den Kühlluft hindurchgeblasen wird (thermischer Schild). Über und unter der Spaltzone übernimmt das Kühl-

wasser die Abschirmung. Der Wasserstand über dem Kern ist etwa 4,5 m, darunter 1,5 m, dazu kommen 28 cm Stahl + Bleischrot. Schließlich wird der Reaktor durch eine 2,7 m dicke Schwerbetonschicht abgeschirmt und abgeschlossen.

Der Reaktor wird durch zwei vertikale Regelstäbe im Be-Reflektor gesteuert. Die Festlegung des Leistungspegels erfolgt durch acht Elemente, die die Spaltzone vertikal durchsetzen. Die untere Hälfte ist bei Normalbetrieb in der Spaltzone und als Brennstoffelement ausgebildet. Der obere Teil enthält Cd-Stahlplatten. Bei Sicherheitsabschaltung fällt das Element herunter; der Brennstoffteil tritt unten heraus, an seine Stelle kommt die absorbierende Hälfte in die Spaltzone.

Der Kühlwasserstrom fließt von oben nach unten und erwärmt sich dabei von 38 auf 44 °C. Es werden 4550 t/h umgepumpt. Etwa $^1/_6$ der Wärme entsteht im Graphit und im thermischen Schild und wird durch Luftkühlung abgeführt. Der Reaktor besitzt etwa 100 Experimentierkanäle.

Am 9. Aug. 1958 ist der Reaktor erstmals mit einer Beschickung von Plutonium-Brennstoffelementen kritisch geworden. Der MTR ist der erste große thermische Reaktor, der mit Pu-Elementen arbeitet. [25]

Lit.: Peaceful Uses of Atomic Energy, Bd. 2, Beitrag 485 u. 490, Genf, 1955. – S. Glasstone, Principles of Nuclear Engineering, S. 812 ff, D. v. Nostrand, New York, 1956. – Progress in Nuclear Engineering, Ser. II: Reactors, Vol. 1, S. 49 ff, Pergamon Press, London.

Multiplier, s. Photovervielfacher.

Multiplikation, unterkritische. In einer unterkritischen Anordnung kann ein Neutronenfluß nur durch die Wirkung einer Fremdquelle aufrechterhalten werden. Ändert sich weder die Lage noch die Stärke der Fremdquelle, so ist der Fluß stationär. Die von der Quelle erzeugten Neutronen werden mit dem „unterkritischen Multiplikationsfaktor" $1/(1-k) \approx -1/\varrho$ vervielfacht. Falls man nur eine Gruppe verzögerter Neutronen berücksichtigt, wird die K i n e t i k der u. M. beherrscht von der Gleichung

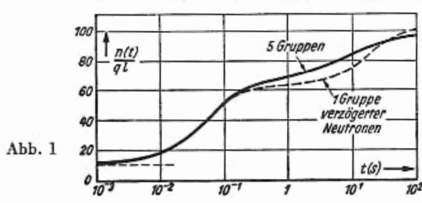
$$n(t) \approx -\frac{q\,l}{\varrho} + \frac{1}{\beta - \varrho}\left[\beta\left(n_0 + \frac{q\,l}{\varrho}\right)\cdot\right.$$

$$\left.\cdot\, e^{\lambda\varrho t/(\beta-\varrho)} - (q\,l + n_0\,\varrho)\,e^{-(\beta-\varrho)t/l}\right]$$

Multiplikation, unterkritische

(s. Reaktorkinetik, Gl. 1 bzw. 4). Da bei u. M. $\varrho < 0$ ist, sind beide Exponenten in dieser Gleichung negativ und der Gleichgewichtszustand lautet $n = q\,l/\varrho$. Ändert man nun im Zeitpunkt $t = 0$ bei gleichbleibender Quelle die Reaktivität sprungartig, so daß der Reaktor noch unterkritisch bleibt, so wird sich asymptotisch ein neuer stationärer Zustand ausbilden (vgl. z. B. kritisches Experiment). Die Abb. 1 zeigt die

Abb. 1

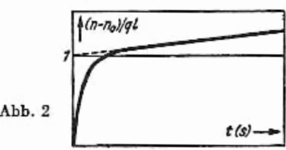


sprungartige Erhöhung der Reaktivität von $k = 0{,}90$ (zehnfache Multiplikation der Quelle) auf $k = 0{,}99$ (hundertfache Multiplikation). Im Grenzfall kann $\varrho = 0$ werden, wobei die obenstehende Gleichung übergeht in

$$n(t) \approx n_0 + \frac{q\,l}{\beta}\,(1 + \lambda t - e^{-\beta t/l}).$$

Die Anordnung ist also für $\varrho = 0$ (wegen der Fremdquelle) nicht kritisch. Der Neutronenfluß läuft nach anfänglichem schnellem Anstieg linear auf (Abb. 2).

Abb. 2



Bei $\varrho > 0$ erfolgt der Anstieg exponentiell. [13]

engl.: subcritical multiplication

franz.: multiplication subcritique

Lit.: S. Glasstone and M. C. Edlund, The Elements of Nuclear Reactor Theory, van Nostrand, New York, 1952.

Multiplikationsfaktor, s. Neutronenvermehrung.

Multiplikationsfaktor, verallgemeinerter. Der effektive Multiplikationsfaktor kann als Quotient aus den Neutronengewinnen und -Verlusten pro Generation definiert werden. Er stellt eine integrale Größe des Reaktors dar. Man kann in so definieren, daß er den Beitrag der einzelnen Reaktorzonen und Neutronengeschwindigkeiten zum Ausdruck bringt:

$$k(t) = \frac{\iint \Phi^{\dagger}(\mathfrak{r}, E)\ \boldsymbol{J}\,\Phi(\mathfrak{r}, E, t)\,\mathrm{d}E\,\mathrm{d}V}{\iint \Phi^{\dagger}(\mathfrak{r}, E)\ \boldsymbol{K}\Phi(\mathfrak{r}, E, t)\,\mathrm{d}E\,\mathrm{d}V}\,.$$

Dabei bedeutet $\Phi^{\dagger}$ die *Einflußfunktion (der „Gewinn-Operator" $\boldsymbol{J}$ und der „Verlust-Operator" $\boldsymbol{K}$ werden unter diesem Stichwort näher erläutert). Der v. M. ist also der Quotient aus Einfluß-Gewinn und Einfluß-Verlust. Er spielt in der *Reaktorkinetik eine Rolle.
Betrachtet man speziell einen nackten, homogenen und thermischen Reaktor, so ist $\boldsymbol{K}$ durch $\boldsymbol{K} = -\Delta + \Sigma_a$
und $\boldsymbol{J}$ durch $\boldsymbol{J} = k_{\infty}\,\Sigma_a\,\mathrm{e}^{-B^2\tau}$
definiert und der v. M. geht in den gewöhnlichen effektiven Multiplikationsfaktor

$$k = \frac{k_{\infty}\,\mathrm{e}^{-B^2\tau}}{1 + L^2 B^2}$$

über. [13]
engl.: general multiplication factor
franz.: facteur de multiplication généralisé

multiplizierende Medien sind solche, in denen eine Vermehrung eingestrahlter Neutronen stattfindet. Der Ausdruck wird in der Regel für Vermehrung mittels thermischer Spaltung gebraucht. Die m. M. bestehen daher aus einer Mischung von Spalt- und Bremssubstanz. [7]
engl.: multiplying materials
franz.: milieu multiplicateur

Multivibrator-Schaltung, Schaltung mit zwei Elektronenröhren (Trioden oder Penthoden). Durch geeignete Verbindung des Anodenkreises der einen Röhre mit dem Gitterkreis der anderen Röhre über Widerstände und Kondensatoren stellen sich zwei begrenzt stabile Betriebslagen ein. Führt die eine Röhre Strom, so wird durch einen Ladungsstoß über den Ver-

bindungskondensator die andere Röhre gesperrt. Der Verbindungskondensator wird durch einen Ableitwiderstand entladen. Dadurch wird die zweite Röhre wieder leitend und verriegelt nun ihrerseits durch einen negativen Ladestoß die erste Röhre. Die Zeitkonstanten für die Kondensatorentladungen können die Dauer und Frequenz des Hin- und Herkippens weitgehend verändern. An den Anoden ergeben sich gegenphasige Rechteckimpulse. Viele moderne Abarten der M.-Sch. existieren und werden laufend neu erfunden. [6]

engl.: multivibrator (circuit)

franz.: montage à multivibrateur

Lit.: W. C. Elmore u. M. Sands, Electronics, McGraw-Hill, 1949.

Mutation nennt man die dauernde erbliche Veränderung eines Erbmerkmales (Gen-Mutation), eines Chromosoms (Chromosomen-Mutation) oder eines Chromosomensatzes (Genom-Mutation) z. B. als Folge einer Strahleneinwirkung, insbesondere auf Keimzellen. Gen-M., bei denen ein Gen abgeändert wird, werden mitunter auch als Punkt-M. bezeichnet. Bei der Chromosomen-M. wird die Struktur des Chromosoms geändert. Es kommt hier entweder zum Verlust eines Teilstückes des Chromosoms, zu der Umkehr eines solchen Teilstückes (Inversion) oder zu einer Verlagerung und daran anschließenden Anheftung des Teilstückes an ein anderes Chromosom (Translokation). Bei der Genom-M. kann es sowohl zu einem Ausfall einzelner Chromosomen als auch zu einer Vermehrung von Chromosomen bis zur Vervielfachung des haploiden Chromosomensatzes (Polyploidie) kommen. Die strahlenbedingte Gen-M. tritt meist als rezessives Merkmal (verdeckt, im Gegensatz zu dominant) in Erscheinung. Sie weist eine direkte Proportionalität mit der Dosis auf, ist unabhängig von der eingestrahlten Intensität und im Bereich der Röntgen-Strahlen unabhängig von der verwendeten Wellenlänge. Die natürliche Grundstrahlung bedingt etwa 2–20 % der beim Menschen spontan auftretenden M. Die Mehrzahl (mehr als 99 %) aller strahlenbedingten M. sind negativer Art (Herabsetzung der Vitalität, der Fruchtbarkeit, geringere Wider-

standsfähigkeit gegenüber Infektionen, Beeinträchtigung körperlicher und geistiger Funktionen etc.). Wenn homozygot, d. h. in beiden homologen Chromosomen vertreten, ist die M. letal (sog. Letalfaktoren). Ein gewisser sehr kleiner Prozentsatz von M.n wird als elementares Material für die Evolution der Organismen und Arten benutzt. Nach den Empfehlungen der ICRP soll die maximal zulässige genetische Dosis bis zum 30. Lebensjahre nicht mehr als 10 r/30 Jahre betragen. [28]

engl.: mutation *franz.: mutation*

Lit.: H. J. Muller, In Radiation Biology, Vol. I/1, p. 351, New York, 1954. – Timofeeff-Ressovsky, Experimentelle Mutationsforschung in der Vererbungslehre, Leipzig und Dresden, 1937.

Mutcheller-Toleranzdosis. Mutcheller suchte 1925–1926 auf Grund physikalischer Messungen in Instituten der USA, an denen bereits viele Jahre geröntgt wurde, nach einer Grenzintensität der Röntgen-Strahlung, die beim Personal noch keine sichtbaren schädlichen Folgen verursachte. Mutcheller errechnete hierbei einen Wert von 0,04 r/h (= ca. 10 μr/s). Die Gefahr einer genetischen Strahlenschädigung war damals noch nicht bekannt. Mutcheller definierte seine „Toleranzdosis" als diejenige Strahlenmenge, die in 20 000 Stunden eine HED (*Hauterythemdosis) = ca. 600 r ergibt. Für einen 7-stündigen Arbeitstag sind dies etwa 0,25 r. Diese M.-T. wurde erst 1950 anläßlich des Internationalen Radiologen-Kongreß in London versuchsweise verlassen und hierfür vorläufig 0,05 r gesetzt. 1954 empfahl die I.C.R.P. bis auf weiteres eine Tagesdosis von 0,05 r (= 0,3 rem/Woche) als noch „zulässig" zu betrachten. [28]

engl.: Mutcheller's maximum permissible dose (exposure)

franz.: dose de tolérance de Mutcheller

Mutterkern, s. Neutronen, verzögerte.

engl.: neutron emitter

franz.: noyau emetteur de neutrons

Mutterlösung, syn. zu *Primärlösung.

MWd/t (Megawatt-Tage je Tonne), Einheit für die je Tonne Brennstoff während der Bestrahlungszeit

nutzbar abgegebene thermische Energie in Megawatt-Tagen.
1 [MWd/t Brennstoff] = $24 \cdot 10^6$ [kWh/kg Brennstoff]. [12]

Myon = μ-Meson, s. Mesonen.
engl.: myon *franz.: muon*

MZK = maximal zulässige *Konzentration.

N

Nachentladungen bilden eine wesentliche Ursache für das Ansteigen der Zählrohrcharakteristik im Auslösebereich von selbst löschenden *Zählrohren. N. sind Impulse, die im Anschluß an einen reellen, von einem ionisierenden Teilchen ausgelösten Impuls auftreten und im Entladungsmechanismus dieses Primärimpulses ihre Ursache haben. Manchmal treten nach einem wirklichen Zählimpuls ganze Serien von N. auf. Diese Erscheinung wird um so ausgeprägter, je höher die Betriebsspannung über der Anfangsspannung des Zählrohres liegt.
Die wesentliche Ursache von N. sind Sekundärelektronen, die durch aufprallende Ionen an der Kathode ausgelöst werden. Da die Wanderungszeit der meisten positiven Ionen in der Größenordnung 10^{-4} s liegt, ist der Abstand der N. von der Primärentladung meist in dieser Größenordnung. Kontrolle durch oszillographische Aufnahme nötig, da die Impulszahl durch N. gefälscht werden kann. [6]
engl.: after count, after discharge, re-ignition
franz.: décharge secondaire

Nachlaufzeit, Maß für das Verhältnis zwischen dem ersten Proportionalsprung und der Integrationsgeschwindigkeit eines *PI-Übertragers in einem Regelkreis. Zwischen dem Amplitudensprung Δx_2 und dem gleichzeitigen Sprung der Geschwindigkeit $\Delta \dot{x}_2$ der Ausgangsgröße x_2 nach einem Sprung Δx_1 der Eingangsgröße x_1 besteht bei diesen Übertragern die Beziehung $\Delta \dot{x}_2/\Delta x_1 = T^{-1}(\Delta x_2/\Delta x_1)$. Die so definierte N. T ist mit der Grenzzeitkonstante T im Frequenzgang des PI-Übertragers identisch. Der Reziprokwert T^{-1} ergibt also die *Grenzfrequenz, bei der der Über-

gang vom überwiegend integralen zum überwiegend proportionalen Übertragungsverhalten stattfindet. [9]

engl.: reset time

Lit.: W. Oppelt, Kleines Handbuch technischer Regelvorgänge, Verl. Chemie, Weinheim/Bergstr., 1956.

Nachwärme, radioaktive, nach dem *Abschalten der Kettenreaktion in einem Kernreaktor fortdauernde Wärmeerzeugung durch die *radioaktiven Zerfälle der *Spaltprodukte. Das Auftreten einer starken und in keiner Weise nachträglich zu beeinflussenden N. stellt ein besonders auffälliges Merkmal der Reaktortechnik dar. Von den etwa 10 % der Gesamtleistung, die im stationären Betrieb in Form von Strahlung der Spaltprodukte erzeugt werden, entfällt nicht ganz die Hälfte auf praktisch momentane Strahlungsemissionen bei der Kernspaltung, während der Rest auf radioaktive Zerfälle von Spaltprodukten mit Zerfallsweisen über 1 s zurückzuführen ist. Für die zeitliche Abnahme der Strahlungsleistung des sehr verschiedene Zerfallszeiten enthaltenden Spaltproduktgemischs gilt zwischen 1 und 10^6 s in guter Näherung die empirische Formel

$$Q_n = Q_0 \cdot 5{,}7 \cdot 10^{-2}[t_0^{-0{,}2} - (t_0 + t)^{-0{,}2}] \text{ Watt}$$

mit t Zeit nach dem plötzlichen Abschalten, t_0 vorausgehende Betriebszeit (in s) bei konstanter Leistung Q_0 (in Watt). Für Zeiten t, die klein gegenüber der gesamten Betriebszeit t_0 sind, gilt daher in guter Näherung

$$Q_n \approx Q_0 \cdot 5{,}7 \cdot 10^{-2}\, t^{-0{,}2}\,.$$

Zahlenmäßig folgt daraus für die relative Größe der N. gegenüber der Dauerleistung zu folgenden Zeiten nach dem Abschalten: 1 s : 5,7 %; 10 s : 3,6 %; 1 min : 2,5 %; 1 h : 1,1 %; 1 d : 0,6 %; 1 m : 0,3 %; 1 a : 0,18 %. Als Faustregel gilt in grober Näherung, daß die N. in der ersten s etwa 5 % der Vollast beträgt und danach in den Schritten 1 min, 1 h, 1 d, 1 mon, 1 a jeweils auf etwa die Hälfte abnimmt. [9]

engl.: (radioactive) after-heat

franz.: chaleur rémanente, chaleur résiduelle

Lit.: S. Glasstone, Principles of Nuclear Reactor Engineering, S. 119, McMillan, London, 1956.

nackt. Ein nackter Reaktor ist ein Reaktor ohne Reflektor. [7]

engl.: bare *franz.: nu*

Naphthalinkristalle für Szintillationszähler, emittieren bei 3450 Å. Abklingzeit $6 \cdot 10^{-8}$ s. [6]
engl.: naphthalene crystal
franz.: cristal de naphthalène

National Reactor Testing Station, großes Versuchsgelände der amerikanischen Atomenergiekommission (USAEC) für Reaktorentwicklung bei Idaho Falls, in der Wüste von Arco, Idaho. Standort zahlreicher Forschungs- und Versuchsreaktoren sowie Prototypen, die von den verschiedenen Laboratorien der USAEC konstruiert und entworfen werden. Abk.: NRTS. [24]

Natrium (Na), Alkalimetall mit der Dichte 0,97; Ordnungszahl 11, Atomgewicht 23. Schmelztemperatur 97,7 °C, Siedetemperatur 892 °C. Absorptionsquerschnitt für thermische Neutronen $\Sigma_a = 0{,}012\ \mathrm{cm}^{-1}$. Kristallstruktur: kubisch raumzentriert.
Na ist ein an der Luft, in Wasser und in Berührung mit sehr vielen anderen Stoffen unbeständiges, weiches Metall. Legierungen des N.s mit *K a l i u m besitzen sehr niedrige Schmelzpunkte; die eutektische Legierung (77,3 Gew.-% Kalium, 22,7 Gew.-% Na) erstarrt bei — 12,5 °C. Diese Legierungen kommen wegen ihres geringen Absorptionsvermögens für Neutronen und wegen ihrer guten Wärmeleitung als Kühlmittel für Reaktoren in Betracht. [4]
engl.: sodium
franz.: sodium

Natrium 22, Isotop, das als *Markierungssubstanz an Stelle von ^{24}Na verwendet wird, wenn die kurze Halbwertszeit des ^{24}Na von 15 Stunden nicht ausreicht. ^{22}Na entsteht bei Deuteronenbestrahlung von Mg über die Reaktion $^{24}\mathrm{Mg}(\mathrm{d}, \alpha)$. Halbwertszeit 2,6 Jahre.

S t r a h l u n g :	β^{+}, 0,54 MeV	89 %	
	Elektroneneinfang	11 %	
	γ, 1,28 MeV	~ 100 %	[16]

Lit.: Radioactive Material and Stable Isotopes, Catalogue No. 4, Isotope Division, Harwell, 1957.

Natrium 24. Das künstlich radioaktive Isotop mit

15,0 Stunden Halbwertszeit entsteht durch Neutronenaktivierung über folgende Reaktionen:

$$^{23}Na\ (n, \gamma),\ ^{27}Al\ (n, \alpha),\ ^{24}Mg\ (n, p).$$

Sehr wirkungsvoll ist die Reaktion $^{23}Na\ (n, \gamma)$, die bei einem langsamen Neutronenfluß von $10^{11}\ n\ cm^{-2}\ s^{-1}$ zu einer Sättigungsaktivität von 38 mc/g führt. Neutronenaktiviertes ^{24}Na ist leicht mit ^{36}Cl, ^{35}S, ^{32}P und ^{42}K radioaktiv verunreinigt. Die radioaktive Umwandlung des ^{24}Na erfolgt über eine Beta-Emission von 1,4 MeV und einer darauffolgenden Gamma-Kaskade (1,37 und 2,76 MeV). Trotz der geringen Halbwertszeit ist ^{24}Na wegen seiner gut meßbaren Strahlung und dem vielfachen Vorkommen von Natrium in der Isotopentechnik ein häufig angewandtes Isotop. Die harte Gamma-Strahlung eignet sich zur Auslösung des Kernphotoeffekts an Deuterium, welches zum Deuteriumnachweis ausgenutzt wurde. Besonders einfach ist die Na-Analyse durch Neutronenaktivierung von Aluminium und gebrannten Tonerden. Es eignet sich zur Blutvolumenbestimmung im Körper und zu Durchlässigkeitsmessungen an Zellmembranen sowie zu Leckmessungen.

In Fällen, wo die Halbwertszeit des ^{24}Na nicht ausreicht, steht ^{22}Na zur Verfügung, das in Beschleunigungsanlagen erzeugt werden kann. [16]

Lit.: E. Broda u. T. Schönfeld, Radiochemische Methoden der Mikrochemie, in F. Hecht, Hdb. d. mikrochemischen Methoden, Bd. II, Wien, 1955. – G. Hevesy, Radioactive Indicators, Interscience Publishers, New York-London, 1948.

Natrium-Graphit-Reaktor, s. SRE.

engl.: sodium graphite reactor

franz.: réacteur à sodium et graphite

Natrium-Jodid. Kristalle aus NaJ werden häufig in Szintillationszählern benutzt. Aktivierung meist mit Thallium. NaJ ist hygroskopisch und muß daher stets von einer wasser- und dampfdichten Hülle geschützt werden. [6]

engl.: sodium iodide *franz.: iodure de sodium*

Natriumkarbonat (Na_2CO_3) benutzt man in wäßriger Lösung als Waschlösung für das organische Extraktionsmittel *TBP (Tributylphosphat). [22]

engl.: sodium carbonate

franz.: carbonate de sodium

Natriumperoxyd (Na_2O_2), s. Entseuchungsmittel.
engl.: sodium peroxide
franz.: peroxyde de sodium

Navier-Stokessche Gleichungen, s. Enskogsche Lösung der Boltzmann-Gleichung.

Nebelkammer (Wilson-Kammer), eines der wichtigsten Geräte zur Untersuchung energiereicher Teilchen, in welchem die Bahnspuren der Teilchen direkt sichtbar werden; 1912 konstruiert von C. T. R. Wilson.
Die N. beruht darauf, daß übersättigter Wasserdampf sich besonders gerne an Ionen zu Wassertröpfchen kondensiert. Läßt man also ein energiereiches Teilchen durch ein Gas fliegen, in welchem ein bestimmter Übersättigungsgrad von Wasserdampf herrscht, so wirken die von dem Teilchen entlang seiner Flugbahn gebildeten Ionen als Kondensationskerne und die dort gebildeten Wassertröpfchen machen bei entsprechend starker Beleuchtung die ganze Flugbahn des Teilchens als feinen, weißen Strich sichtbar (vergleichbar dem Kondensstreifen eines Flugzeugs).
Der richtige Übersättigungsgrad des Wasserdampfes wird in der N. dadurch erzeugt, daß eine ursprünglich mit Wasserdampf gerade gesättigte Atmosphäre ruckartig, meist mittels eines Kolbens, auf ein größeres Volumen expandiert wird. Die N. ist dann für einen kleinen Bruchteil einer Sekunde für den Nachweis von Teilchen empfindlich. Durch eine langsame Nach-Expansion kann die Dauer der Empfindlichkeit auf 1 s und mehr gesteigert werden (langsame N.). Endlich kann auch Expansion und Beleuchtung automatisch durch das Teilchen, welches aufgenommen werden soll, ausgelöst werden, indem das Teilchen vor und hinter der N. ein Zählrohr durchfliegt, dessen Ansprechen die Kammer in Tätigkeit setzt (automatische N.).
Neuerdings werden auch „kontinuierliche" N.n gebaut, bei welchen die Übersättigung des Dampfes einer organischen Flüssigkeit in einem Teil des Volumens durch ein Temperaturgefälle dauernd aufrecht erhalten wird.
In einem starken magnetischen Feld erlaubt die N.

auch die gekrümmten Bahnen von Teilchen sichtbar zu machen und läßt durch Ausmessung der Krümmung eine Berechnung der Energie zu. Durch Aufnahme unter zwei verschiedenen Blickwinkeln können stereoskopische N.-Bilder gewonnen werden. In der gesamten Kernphysik, insbesondere auch zum Studium von Kernumwandlungen und von Teilchen der kosmischen Strahlung, ist die N. ein unentbehrliches Hilfsmittel. [1]
engl.: cloud chamber
franz.: chambre de Wilson, chambre à détente
Lit.: W. Riezler, Kernphysik, 6. Aufl., Oldenbourg, München, 1958. – W. Gentner, H. Maier-Leibnitz u. W. Bothe, Atlas typischer Nebelkammerbilder, Springer, Berlin, 1940.

Nebenleitung (Umgehungsleitung). Reinigungsanlagen wie Filter und Ionenaustauscher für Reaktorkühlmittel oder Wärmeübertragungsmedien befinden sich meist in N.n, deren Durchfluß etwa 1 % vom Hauptkreislauf beträgt.
Außerdem werden N.n im Sinne von Umgehungsleitungen verwendet. Eine Umgehungsleitung der Turbine kann zur kurzzeitigen Leistungsregelung dienen. [8]
engl.: by-pass
franz.: conduite auxiliaire, by-pass

n-Einheit. 1 n ist diejenige Dosis schneller Neutronen, die in einem 100 r - Victoreen - Dosimeter (Fingerhut-Ionisationskammer der Fa. Victoreen) die gleiche Ionenladung (d. h. den gleichen Skalenausschlag) erzeugt wie die Röntgenstrahlendosis 1 r. 1 N ist ebenso definiert, doch auf ein 25 r - Victoreen - Dosimeter bezogen. 1 n $\approx$ 2–2,5 rep $\approx$ 190 erg/g Gewebe. 1 n/s $\triangleq$ 5,8 · 10^8 schnelle Neutronen/cm^2 s. Es handelt sich hier um interimistische Definitionen zur Festlegung der Neutronendosen. Sie sollen international verbessert werden, sobald eindeutige Meßmethoden zur Verfügung stehen. [28]
engl.: n-unit *franz.: unité n*

Nekrose, svw. Absterben von Geweben oder Gewebsteilen, häufig einhergehend mit einem Zerfall der abgestorbenen Teile in körnige, käseartige Massen, z. B. als Folge einer Gewebsschädigung durch energiereiche Strahlen. [28]
engl.: necrosis *franz.: nécrose*

Nennleistung ist die Leistung einer Maschine, für die sie unter Berücksichtigung der bestehenden Vorschriften und Richtlinien planungsmäßig ausgelegt ist. Sie ist im allgemeinen auf dem Leistungsschild der Maschine gekennzeichnet. [21]
engl.: nominal power *franz.: puissance nominale*

Neodym (Nd). *Lanthanidenelement der Ordnungszahl 60. Atomgewicht: 144,27; Schmelzpunkt 840 °C; Dichte 17. Einfangsquerschnitt für thermische Neutronen $\sigma_a = 48$ barn. Das natürlich vorkommende Nd besteht zu 23,9 % aus dem radioaktiven Isotop $^{144}_{60}$Nd, das eine Halbwertszeit von $2 \cdot 10^{15}$ a besitzt.

$$^{144}_{60}\text{Nd} \xrightarrow[2 \cdot 10^{15}\,\text{a}]{\alpha} {}^{140}_{58}\text{Ce}$$

[3]

engl.: neodymium *franz.: néodyme*

Neoplasma, svw. Neubildung, meist bösartige Geschwulstbildung (Tumor). [28]
engl.: neoplasm *franz.: néoplasme*

Neptunium, das erste der künstlich durch Kernumwandlung hergestellten Transurane; Ordnungszahl 93; chemisches Symbol Np. Schon 1936 von Hahn vermutet, wurde es 1940 von McMillan und Abelson erstmals nachgewiesen, und zwar als Isotop mit der Massenzahl 238. Kurz darauf wurde auch das Isotop Np 239 aufgefunden, das aus dem Uranisotop 239 durch β-Zerfall entsteht, welch letzteres durch Neutronen-Beschuß des gewöhnlichen Uran 238 erhalten wird:

$$^{238}_{92}\text{U}\ (n, \gamma)\ {}^{239}_{92}\text{U} \xrightarrow{\beta} {}^{239}_{93}\text{Np} \xrightarrow{\beta} {}^{239}_{94}\text{Pu}.$$

Das N.-Isotop 239 zerfällt rasch (Halbwertszeit 2,3 d) in das langlebige Plutoniumisotop $^{239}_{94}$Pu, das *spaltbar ist. Die oben angegebene Umwandlungsgleichung gibt den Weg zu seiner Herstellung an, wobei die notwendigen Neutronen durch eine Kettenreaktion gewonnen werden.
Das N.-Isotop der Massenzahl 238 entsteht durch Deuteronenbeschuß des gewöhnlichen Urans. Es ist ebenfalls ein kurzlebiger β-Strahler.
Endlich konnte aus dem Uranisotop 237, das im Reak-

tor entsteht, durch β-Zerfall das N.-Isotop 237 gewonnen werden, das α-Strahlen aussendet und eine Halbwertszeit von 2,2 Millionen Jahren besitzt. Dieses N.-Isotop ist das Ausgangs-Element der vierten radioaktiven Zerfallsreihe. Neuerdings hat man noch leichtere Np-Isotope mit Massenzahlen von 231 bis 236 und meist kurzer Lebensdauer festgestellt. [1]

engl.: neptunium

franz.: neptunium

Lit.: O. Hahn, Künstliche neue Elemente, Chemie, Weinheim, 1948. – Landolt-Börnstein, Zahlenwerte und Funktionen, I. Bd., 5. Teil, 6. Aufl., Springer, Berlin, 1952.

Neptuniumreihe, die Reihe von Atomkernen, die aus dem Zerfall des künstlichen Isotopes $^{237}_{93}Np$ entsteht. Die Massenzahl aller Kerne ist $4\,n + 1$. Lebensdauer und Zerfallsart sind nebenstehend aufgeführt. S. a. Zerfallsreihen, radioaktive. [18]

engl.: neptunium series

franz.: série du neptunium

Nest, Ionennest, Gebiet hoher Ionendichte am Ende der Spur eines ionisierenden Teilchens, z. B. eines langsamen Elektrons oder Protons. [18]

engl.: cluster

franz.: amas

Netzebenen, gedachte Ebenen, auf denen die Atome (bzw. Ionen oder Moleküle) eines Kristallgitters angeordnet sind. Die kristallographische Festlegung einer N. erfolgt durch das kleinste ganzzahlige Verhältnis der reziproken Achsenabschnitte, gemessen in Kantenlängen der Elementarzelle. Diese Zahlen werden als M i l l e r sche I n d i z e s bezeichnet. [4]

engl.: net plain

franz.: plan réticulaire, plan du réseau cristallin

Neutrino, Elementarteilchen, dessen Existenz zunächst aus theoretischen Gesichtspunkten gefordert wurde und in jüngster Zeit (1955) experimentell nachgewiesen werden konnte. Die wichtigste Erscheinung, die lange vor der direkten Beobachtung zur Annahme der Existenz des N. zwang (1933), ist der β-Zerfall. Bei diesem Prozeß wird weder die Energiebilanz von dem ausgeschleuderten Elektron allein erfüllt, noch die

Neptuniumreihe

$^{237}_{93}\mathrm{Np}$
α ↓ 2,25 · 10⁶ a
$^{233}_{91}\mathrm{Pa}$
β ↓ 27,4 d
$^{233}_{92}\mathrm{U}$
α ↓ 1,62 · 10⁵ a
$^{229}_{90}\mathrm{Th}$
α ↓ 7,10³ a
$^{225}_{88}\mathrm{Ra}$
β ↓ 14,8 d
$^{225}_{89}\mathrm{Ac}$
α ↓ 10,0 d
$^{221}_{87}\mathrm{Fr}$
α ↓ 4,8 min
$^{217}_{85}\mathrm{At}$
α ↓ 0,021 s
$^{213}_{83}\mathrm{Bi}$
α (4 %) (47 min) β (96 %)
$^{209}_{81}\mathrm{Tl}$ $^{213}_{84}\mathrm{Po}$
2,2 min β α $3{,}10^{-6}$ s
$^{209}_{82}\mathrm{Pb}$
β ↓ 3,3 h
$^{209}_{83}\mathrm{Bi}$ (stabil)

Bilanz des Drehimpulses. Man nimmt daher an, daß mit jedem Elektron auch ein N. ausgesandt wird, das einen Teil der zur Verfügung stehenden Energie übernimmt, und außerdem einen Drehimpuls von mindestens der Größe seines Spins. Eigenschaften des N.:

Ruhmasse Null (oder wesentlich kleiner als die des Elektrons), Ladung Null, Spin $^{1}/_{2}$. Gemäß der Diracschen Theorie existiert ein Antiteilchen, das Antineutrino. [1]

engl.: neutrino *franz.: neutrino*

Neutron, ungeladenes „schweres“ Elementarteilchen. Das N., das schon früher theoretisch vermutet worden war, wurde 1932 von Chadwick entdeckt, der eine richtige Deutung für Beobachtungen fand, welche schon vorher von W. Bothe und von Joliot und Curie bei der Bestrahlung von Bor oder Beryllium mit α-Strahlen gemacht worden waren.

Die wichtigsten Eigenschaften des N.s sind: Ruhmasse 1,00898 Kernmasseneinheiten oder $1{,}675 \cdot 10^{-24}$ g; Ladung Null; Spin $^{1}/_{2}$; magnetisches Moment $-$ 1,9130 Kernmagnetonen (das negative Zeichen bedeutet, daß die Drehsinne des Spins und des magnetischen Moments sich gerade umgekehrt zueinander verhalten wie beim Proton).

N.n bilden zusammen mit Protonen (beide zusammen werden auch als Nukleonen bezeichnet) die zusammengesetzten Atomkerne (s. Kernbau). Freie N.n können grundsätzlich nur dadurch gewonnen werden, daß man sie aus einem Kern abtrennt, also durch eine Kernumwandlung. Die historisch erste, auch jetzt noch vielfach benützte Methode ist die Beschießung von Beryllium mit α-Strahlen, wobei durch die Kernreaktion

$$^{9}\mathrm{Be}\ (\alpha, \mathrm{n})\ ^{12}\mathrm{C}$$

N.n entstehen. Auch andere Kernumwandlungen werden heute zur Erzeugung freier N.n herangezogen (s. Neutronenquellen). Besonders viele N.n entstehen bei der Kettenreaktion im Reaktor.

Da die Ruhmasse des N.s etwas größer ist als die von Proton und Elektron zusammen, hat es gegenüber den letzteren auch eine etwas höhere Energie und zerfällt daher als freies N. radioaktiv in ein Proton, ein Elektron und ein Neutrino. Die Halbwertszeit dieses Vorgangs ist ca. 13 min. Im Innern der Kerne ist allein die Gesamtenergie maßgebend. Bei den meisten Kernen sind daher die sie aufbauenden N.n stabil. Beim β-Zerfall jedoch verwandelt sich auch hier ein N. in ein Pro-

trinos, während beim Positronenzerfall umgekehrt ein Proton des Kerns sich in ein N. verwandelt. Nur ganz wenige Kerne geben beim radioaktiven Zerfall N.n ab (*Neutronenstrahler).
Die bei Kernumwandlungen entstehenden N.n werden meist mit einer Energie von einigen MeV ausgeschleudert. [1]
engl.: neutron *franz.: neutron*
Lit.: W. Riezler, Kernphysik, 6. Aufl., Oldenbourg, München, 1958.

Neutronen, abgestreifte. Beschießt man Atomkerne mit Deuteronen extrem hoher Energie, so löst sich beim Aufprall meist die Bindung des Deuterons, das dadurch in ein Neutron und ein Proton zerfällt. Häufig fliegt das abgetrennte Neutron mit der halben kinetischen Energie allein weiter, während das Proton „stecken bleibt". Solche Neutronen nennt man abgestreifte N. So kommt man mit Deuteronen von 200 MeV zu N. von etwa 100 MeV Bewegungsenergie. [1]
engl.: stripped neutrons

Neutronen, epithermische, haben eine Energie oberhalb des thermischen Bereichs. Eine exakte obere Grenze existiert nicht. Normalerweise wird man sie bei einigen eV bis einigen zehn eV ansetzen. [7]
engl.: epithermic neutrons
franz.: neutrons épithermiques

Neutronen, jungfräuliche, sind solche, die von einer Quelle emittiert wurden und noch keinen Stoß an den umgebenden Atomkernen erlitten haben. [7]
engl.: virgin neutrons *franz.: neutrons vierges*

Neutronen, mittelschnelle, unbestimmter Ausdruck für einen Energiebereich unterhalb 1 MeV. [7]
engl.: intermediate neutrons
franz.: neutrons intermédiaires

Neutronen, prompte. Diejenigen N., die unmittelbar bei der Kernspaltung frei werden, heißen prompt. Sie entstehen innerhalb 10^{-14} s. Mehr als 99 % aller entstehenden N. erscheinen prompt. Der Rest erscheint verzögert über Neutronen emittierende Mutterkerne. S. Neutronen, verzögerte. [7]
engl.: prompt neutrons
franz.: neutrons instantanés

Neutronen, schnelle, eine nicht festgelegte Vokabel. Im Bereich der Kernreaktionen wird man an Energien $\gtrsim$ 1 MeV denken, so daß diese s. N. Spaltungen an Uran 238 ausführen können. Oftmals werden aber auch N. mit Energien oberhalb 1 keV als schnell bezeichnet. [7]
engl.: fast neutrons
franz.: neutrons rapides

Neutronen, thermische, sind im thermischen Gleichgewicht mit dem Medium, in dem sie diffundieren. Streng genommen sollte man dabei an eine Maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung denken (s. Fluß). Mitunter aber braucht man das Wort auch für N. einheitlicher Energie vom Betrage $k\,T = 0{,}0253$ eV bei $T = 288$ °K. (S. a. Neutronentemperatur.) [7]
engl.: thermal neutrons
franz.: neutrons thermiques

Neutronen, verzögerte. Die v. N. werden im Gegensatz zu den prompten erst Sekunden bis Minuten nach der Kernspaltung emittiert. Obwohl der Anteil an der Gesamtzahl der bei einer Spaltung frei werdenden v. N. nur etwa 0,76 % beträgt, sind sie für die Steuerung eines Reaktors von größter Bedeutung. Denn die *Reaktorperiode T ist näherungsweise bestimmt durch $T = l/\varrho$, wo ϱ die *Reaktivität und l die *Generationsdauer der v. N. in der Kettenreaktion ist. Die Generationsdauer beträgt in einem thermischen Reaktor ohne Berücksichtigung der v. N. 10^{-3} bis 10^{-4} s, mit Berücksichtigung der v. N. aber ungefähr 10^{-1} s. Ohne v. N. wäre es kaum möglich, einen Reaktor gefahrlos zu steuern.
Die v. N. werden nach ihren Halbwertszeiten, d. h. nach den Zeiten, die sie (im Mittel) nach der Spaltung entstehen, zu sechs Gruppen zusammengefaßt (s. Tabelle). Die v. N. entstehen auf folgende Weise: Da das Verhältnis der Zahl der Neutronen zur Zahl der Protonen in schweren Kernen größer ist als in leichten, besitzen die bei einer Spaltung entstehenden Isotope einen zu großen Neutronenüberschuß, den sie gewöhnlich durch wiederholte β-Emission in Protonen verwandeln. Kommt nun eine solche Zerfallsreihe auf ein Energieniveau eines Kernes, das sich etwa 6 bis 8 MeV (= Bin-

Tabelle 1

Verzögerte Neutronen bei der thermischen Spaltung von Uran 235.

Gruppe	Halbwertszeit [s]	Energie [keV]	Häufigkeit	Mutterkern
1	55,7	250	21,1	^{87}Br
2	22,7	460	140,2	^{137}J
3	6,2	405	125,4	Br$^{(89, 90, 91)}$
4	2,3	450	252,8	(^{139}Xe ^{139}J ^{135}Sb)
5	0,61	420	73,8	(^{137}Sb ^{85}As)
6	0,23		26,9	(^{9}Li)
			640	

Tabelle 2

Daten der bei der thermischen Spaltung von ^{233}U und ^{239}Pu und der schnellen Spaltung von ^{238}U und ^{232}Th entstehenden v. N.

Gruppe	Halbwertszeit	Häufigkeit, bezogen auf 10^5 prompte Neutronen			
		^{232}Th	^{233}U	^{238}U	^{239}Pu
1	55,7	70	23	20	7
2	22,7	310	78	213	63
3	6,2	320	66	252	44
4	2,3	922	73	603	68
5	0,61	355	14	350	18
6	0,23	89	9	117	9
		2066	263	1555	209

dungsenergie eines Nukleons) über dem Grundzustand befindet, so kann dieser Kern statt eines β-Teilchens ein Neutron emittieren. Diese v. N. erscheinen dann eine Zeit nach der Spaltung, die der mittleren

Zerfallszeit des vorhergehenden Kernes entspricht. Dieser Kern wird Mutterkern genannt. Die β-Strahler, deren Tochterkerne v. N. aussenden, sind in Spalte 4 der Tabelle 1 angegeben. Die Angaben über die Häufigkeiten schwanken in der Literatur. Die hier angegebenen Zahlen stammen von Keepin (Physic. Rev. 107, 1044, 1957) und werden jetzt meistens benützt. Frühere Zahlen hat Hughes angegeben.

Die Häufigkeit ist auf 10^5 prompte Neutronen bezogen. Die eingeklammerten Angaben sind noch unsicher. Der Grund zu dieser Unsicherheit ist in der Schwierigkeit zu suchen, kurzlebige radioaktive Elemente chemisch zu trennen.

engl.: delayed neutrons

franz.: neutrons retardés, n. différés

Lit.: Progress in Nuclear Energy, Vol. 1: Physics and Mathematics, S. 191 (G. R. Keepin), Pergamon Press, London, 1956. – D. Hughes, Pile Neutron Research, Addison Wesley Press, Cambridge, Mass., 1953.

Neutronenabsorption, Anlagerung von Neutronen an einen Atomkern. Meist synonym zu Neutroneneinfang gebraucht, s. a. Absorption. [7]

engl.: neutron absorption

franz.: absorption de neutrons, capture de neutrons

Neutronenaktivierung, Erzeugung eines radioaktiven Kerns durch Neutronenbeschuß von stabilen Kernen. Die meisten in der Isotopentechnik benutzten radioaktiven Isotope werden durch N. gewonnen. Neutronen vermögen wegen ihrer elektrischen Neutralität verhältnismäßig leicht Kernreaktionen einzugehen, die zu stabilen oder radioaktiven Kernen führen. Man unterscheidet:

1. Anlagerung von Neutronen mit anschließender Aussendung eines Gammastrahles (n, γ): Der Wirkungsquerschnitt dieser Reaktion für langsame Neutronen ist in der Regel umgekehrt proportional zur Wurzel aus der Neutronenenergie; Ausnahme: *Resonanzeinfang. Die Anlagerung schneller Neutronen ist sehr viel seltener als die Streuung und sehr viel seltener als die Anlagerung langsamer Neutronen. Die (n, γ)-Reaktion langsamer Neutronen ist die gebräuchlichste Aktivierungsreaktion.

2. Umwandlung von Kernen (n, p) und

Neutronen-aktivierung

(n, α) mit langsamen Neutronen: Der Wirkungsquerschnitt dieser Reaktion ist gleichfalls umgekehrt proportional zur Wurzel aus der Neutronenenergie. Es gibt nur wenige Fälle, die mit positiver Energietönung verlaufen, nämlich:

^{3}He (n, p) ^{3}H	^{33}S (n, p) ^{33}P	^{6}Li (n, α) ^{3}H
^{14}N (n, p) ^{14}C	^{35}Cl (n, p) ^{35}S	^{10}B (n, α) ^{7}Li

Sämtliche Endprodukte mit Ausnahme von ^{7}Li sind radioaktiv.

3. Umwandlung von Kernen (n, α), (n, p), (n, 2 n) durch schnelle Neutronen: Diese Reaktionen verlaufen endotherm und bedürfen daher einer bestimmten zugeführten Schwellenenergie.

4. Spaltung von Kernen (n, f) durch langsame und schnelle Neutronen führt zu sog. Spaltisotopen.

Die meisten radioaktiven Produktkerne sind entsprechend der durch die Reaktionen (n, γ), (n, p), (n, α), (n, f) bewirkten Verschiebung des Protonen-Neutronen-Verhältnisses der Kerne Betastrahler. Dagegen resultieren aus (n, 2 n)-Reaktionen entsprechend Positronen- oder K-Strahler. Es gibt Ausnahmen von der Regel.

Wenn auch die Reaktionsfähigkeit von Neutronen mit Atomkernen relativ groß ist, so ist doch die absolute Reaktionsausbeute klein. Es müssen daher große Neutronenflüsse für die Aktivierung angewandt werden.

Beispiele von thermischen Neutronenflüssen aus verschiedenen Quellen (die Quellen sind mit H_2O oder Paraffin umgeben zur Abbremsung der mit hoher Energie entstehenden Neutronen).

Quelle	Neutronenfluß (cm^{-2} s^{-1})
1. 1 Curie (γ, n)-Quelle (^{124}Sb-Be)	10^{4}
2. 1 Curie (α, n)-Quelle (Ra-Be)	10^{5}
3. (d, d)-Reaktion 200 kV, 1 µA	10^{6}
4. (d, d)-Reaktion 1000 kV, 1 µA	10^{7} ... 10^{8}
5. Zyklotron	10^{9} ... 10^{10}
6. Reaktor	10^{11} ... 10^{14}

Neutronenaktivierung

Die Quellen (3) bis (5) kommen wegen ihres kostspieligen Betriebes nur für Sonderfälle in Betracht. Deshalb benutzt man üblicherweise in der Isotopentechnik die Bestrahlung im Atomreaktor oder radioaktive Neutronenquellen nach 1 und 2 für Substanzen mit hohem Aktivierungsquerschnitt.

Die Ausbeute einer Reaktion ist durch den *Aktivierungsquerschnitt bestimmt. Bei gegebenem Neutronenfluß $\Phi\,(\mathrm{cm^{-2}\,s^{-1}})$ steigt die spezifische Aktivität S (Curie/g) bis zur spezifischen Sättigungsaktivität, die nach einer Bestrahlungszeit t von einigen Halbwertszeiten T des radioaktiven Produkts nahezu erreicht ist. Es gilt folgende Beziehung:

$$S = \frac{0{,}6 \cdot \Phi \cdot \sigma}{3{,}7 \cdot 10^{10} \cdot A} \left(1 - \mathrm{e}^{-\ln 2 \cdot t/T}\right).$$

A ist das Atomgewicht des bestrahlten Elements, σ der Aktivierungsquerschnitt, gemessen in barn. Die Masse M der bei der Bestrahlung bis zur Sättigung aktivierten Substanz innerhalb eines Gramms Bestrahlungssubstanz ist sehr klein und entzieht sich meist jeder Gewichtsbestimmung. Sie beträgt

$$M = 7{,}7 \cdot 10^{-9}\, A\, T\, S \quad (T \text{ in Tagen}).$$

Die aktive Substanz kann chemisch abgetrennt werden (trägerfreie Präparate), wenn mit der Aktivierungsreaktion zugleich ein anderes chemisches Element entsteht. Dies ist bei der (n, γ)-Reaktion nicht der Fall. Aber auch hier gibt es Möglichkeiten, in speziellen Fällen das aktive Isotop über die *Szilard-Chalmers-Reaktion abzusondern.

Bei der N. im Kernreaktor besteht der Neutronenfluß aus langsamen und schnellen Neutronen. Außerdem ist noch erhebliche Gammastrahlung vorhanden. Man kann bis zu einem gewissen Grade die Gammastrahlung abschirmen oder die schnellen Neutronen ausschließen (Bestrahlung in der thermischen Säule). Damit ist aber ein Verlust an langsamen Neutronen verbunden, so daß man oftmals die durch Gammastrahlung und schnelle Neutronen verursachten Eigenschafts-

änderungen und Störaktivitäten in Kauf nimmt. [16]
engl.: neutron activation
franz.: activation par neutrons

Lit.: Broda u. Schönfeld, Radiochemische Methode der Mikrochemie, in F. Hecht, Hdb. der mikrochemischen Methoden, Wien, 1955. – Landolt-Börnstein, Bd. I/5, Artikel Maier-Leibnitz, Mattauch-Flammersfeld, Springer, Berlin.

Neutronenaktivierungsanalyse, eine radiochemische Elementar-Analysenmethode, die es gestattet, im wesentlichen mit physikalischen- und einem Minimum an chemischen Arbeitsgängen die stoffliche Zusammensetzung von Materialien zu ermitteln. Für den Nachweis geringster Spuren ist die N. oftmals die einzige sichere Methode. Sie wickelt sich in der Regel über folgende Schritte ab:

1. Neutronenaktivierung einer bestimmten Probenmenge, wodurch die Elemente der Probe eine Radioaktivität erhalten, die nach Strahlungsart, Strahlungsenergie, Halbwertszeit und spezifischer Aktivität verschieden ist.
2. Chemische Auflösung der Probe, Hinzufügung von Trägersubstanzen.
3. Chemische Abtrennung der aktiven Substanzen mit den Trägersubstanzen nach klassischen Methoden.
4. Überführung der abgetrennten Substanzen in eine für radioaktive Messungen geeignete Form.
5. Messung der Probenaktivität (unter Berücksichtigung der evtl. Meßfehler) und der Qualität der Strahlung durch: a) *Abfallanalyse, b) *Absorptionsanalyse, c) *Impulshöhenanalyse.
6. Zuordnung von Elementen nach Qualität und Quantität zu den Ergebnissen der radioaktiven Messungen unter Berücksichtigung der chemischen Vorgänge, der Gesetzmäßigkeiten bei der Aktivierung, der Strahlungsdaten der einzelnen Isotope und des Vergleichs mit Eichsubstanzen.

In vielen Fällen kann man die Schritte (2) und (3) übergehen und den Schritt (5) auf eine einfache radiometrische Messung beschränken. Mit Neutronenquellen auf der Basis radioaktiver Präparate (10^4 bis 10^5 n cm^{-2} s^{-1}) lassen sich auf diese Weise Milligrammengen von folgenden Substanzen nachweisen, die einen Aktivierungsquerschnitt von über

Neutronen-aktivierungsanalyse

10 Barn und aktiviert Halbwertszeiten zwischen 15 Sekunden und 3 Tagen besitzen: Mn, Rh, Ag, In, Pr, Sm, Eu, Tb, Dy, Ho, Yb, Cp, W, Re, Ir, Au.

Nachweisempfindlichkeit der Elemente durch Neutronenaktivierung *I*

	1a	2a	3a	4a	5a	6a	7a	8a			1b	2b	3b	4b	5b	6b	7b	8b
1																	1 H	2 He
2	3 Li 5	4 Be 6											5 B 6	6 C 6	7 N 5	8 O 5	9 F 5	10 Ne 6
3	11 Na 2	12 Mg 4	13 Al 2											14 Si 4	15 P 3	16 S 4	17 Cl 3	18 Ar 5
4	19 K 3	20 Ca 4	21 Sc 2	22 Ti 4	23 V 2	24 Cr 3	25 Mn 2	26 Fe 4	27 Co 3	28 Ni 4	29 Cu 2	30 Zn 3	31 Ga 2	32 Ge 3	33 As 2	34 Se 3	35 Br 2	36 Kr 5
5	37 Rb 3	38 Sr 4	39 Y 2	40 Zr 4	41 Nb 4	42 Mo 3	43 Tc 6	44 Ru 3	45 Rh 2	46 Pd 2	47 Ag 3	48 Cd 3	49 In 1	50 Sn 4	51 Sb 2	52 Te 3	53 J 2	54 Xe 6
6	55 Cs 3	56 Ba 3	57–71 ΣLa	72 Hf 3	73 Ta 2	74 W 2	75 Re 2	76 Os 3	77 Ir 2	78 Pt 3	79 Au 2	80 Hg 3	81 Tl 4	82 Pb 4	83 Bi 4	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	89 Ac	90 Th 2	91 Pa	92 U 2												

ΣLa

57 La 2	58 Ce 3	59 Pr 2	60 Nd 3	61 Pm 6	62 Sm 2	63 Eu 1	64 Gd 2
65 Tb 2	66 Dy 1	67 Ho 2	68 Er 2	69 Tm 2	70 Yb 2	71 Cp 2	

Die Zahlen 1–6 unter den Elementen geben deren Nachweisempfindlichkeit an. Die Zahlen bedeuten:

1. $10^{-4}-10^{-3}$ γ
2. $10^{-3}-10^{-1}$ γ
3. $0{,}1-1$ γ
4. $1-50$ γ
5. *qualitativ nachweisbar*
6. *nicht nachweisbar*

Durch Neutronenaktivierung im Reaktor erhält man entsprechend vorstehender Tabelle eine wesentlich höhere Nachweisempfindlichkeit. Die Tabelle gilt für einen Reaktor mit einem Fluß langsamer Neutronen von 10^{14} n cm^{-2} s^{-1}. Man kann jedoch in bestimmten Fällen, die für die einzelnen Elemente angegebene Nachweisbarkeit um den Faktor 100 bessern. S. a. Aktivierungsanalyse. [16]

engl.: neutron activation

franz.: analyse par activation neutronique

Lit.: Smales, Peaceful Uses of Atomic Energy, Bd. 15, Vereinte Nationen, New York, 1956. – Broda u. Schönfeld, Radiochem. Methoden der Mikrochemie, in F. Hecht, Hdb. der mikrochemischen Methoden, Bd. II, Wien, 1955.

Neutronenalter, s. Fermi-Alter.

engl.: neutron age *franz.: âge des neutrons*

Neutronenbestrahlung, s. *Neutronenaktivierung.

engl.: neutron irradiation

franz.: irradiation par neutrons

Neutronenbeugung. Neutronen geringer Energie werden an den Atomen eines Gitters so gestreut, daß sich ähnliche Kristallinterferenzen abzeichnen, wie bei Röntgen-Strahlen. Die Neutronenwellenlänge muß in der Größenordnung von 1 Å liegen; das entspricht etwa 0,08 eV. Die Aufnahmeverfahren entsprechen denen der Röntgen-Strukturaufnahmeverfahren. Auch die Aufnahmetechnik ist praktisch gleich. Meistens wird mit einem Zählrohrgoniometer gearbeitet. Filmaufnahmen werden wegen der kleinen Strahlstärke und daher langen Belichtungszeit selten angefertigt. Monochromatisiert wird der aus einer thermischen Säule kommende Strahl durch einen Kristall (wie bei den Röntgen-Verfahren) oder durch einen Chopper. Die Spektralbreite ist wesentlich breiter, weil der Strahl direkt aus dem Kontinuum entnommen wird.

Die Neutroneninterferenzen unterscheiden sich in einigen Punkten von den Röntgen-Interferenzen. Der Grund hierfür ist der verschiedenartige Streuvorgang. Röntgen-Strahlen werden nur an der Hülle eines Atoms, Neutronenstrahlen dagegen am Kern und an der Hülle (magnetische Streuung) gestreut. Die wichtigsten Merkmale der Neutronenbeugung sind:

1. Der Atomformfaktor ist über den ganzen Winkelbereich konstant. Dadurch werden auch für hohe Ablenkwinkel noch gut erkennbare Interferenzen erhalten.
2. Das Streuvermögen nimmt nicht mit der Ordnungszahl zu. Deshalb kann man auch noch Stoffe wie H, He u. a. untersuchen.
3. Neutronenstrahlen sprechen auf die einzelnen Isotope an.
4. Die Strahldichte ist kleiner als die der Röntgenstrahlen. Damit fällt die Zählrate ab.
5. Zusätzliche Streuung von magnetischen Atomen, diffuse Streuung für Paramagnetika, kohärente Streuung für Ferro- und Antiferromagnetika. [26]

engl.: neutron diffraction

franz.: diffraction neutronique

Lit.: Bacon, Neutron Diffraction, Clarendon Press, Oxford, 1955.

Neutronenbremsung. Unter N. versteht man den Energieverlust, den Neutronen beim Durchgang durch Materie erleiden.

Dieser hängt ab

1. vom Streuquerschnitt σ_s,
2. von der Anzahl der Kerne in cm^3,
3. vom mittleren Energieverlust je Stoß.

Streuquerschnitte und Dichte sind aus Tabellenwerken zu entnehmen, s. Anhang. Der mittlere Energieverlust je Stoß hängt gesetzmäßig mit der Masse des Kerns zusammen. Es geht im Mittel der Bruchteil

$$\alpha = 2\,A/(A+1)^2 \tag{1}$$

von der die Energie der Atomkerne übersteigenden Neutronenenergie verloren. Für Streuung an Wasserstoff ($A = 1$) ist $\alpha = 1/2$, für die Streuung an Uran ($A = 238$) erhält man 0,00838.

Im Rahmen der Theorie ist der Ausdruck für den mittleren logarithmischen Energieverlust wichtiger. Er ist definiert durch

$$\xi = \ln \frac{E_i}{E_{i+1}}\,, \tag{2}$$

wobei E_i die Energie nach dem i-ten Stoß, E_{i+1} ent-

sprechend die Energie nach dem $(i + 1)$-ten Stoß ist. Man berechnet

$$\xi = 1 + \frac{(A-1)^2}{2A} \ln \frac{A-1}{A+1} \approx$$

$$\approx \frac{2}{A + 2/3} \text{ wenn } A \geqq 2 \qquad (3)$$

errechnet. Mit Hilfe von ξ kann man die Zahl der Stöße angeben, die ein Neutron mit der Spalt-Energie E_f erleiden muß, um auf die thermische Energie E_{th} abgebremst zu werden.

Die Stoßzahl Z ist

$$Z = \frac{1}{\xi} \cdot \ln \frac{E_f}{E_{th}}. \qquad (4)$$

Element	Massenzahl	ξ	Z
Wasserstoff	1	1,000	18
Deuterium	2	0,725	25
Helium	4	0,425	43
Lithium	7	0,268	67
Beryllium	9	0,209	86
Kohlenstoff	12	0,158	114
Sauerstoff	16	0,120	150
Uran	238	0,00838	2172

In der Tabelle sind ξ und Z für eine Reihe wichtiger Kerne angegeben. S. a. Bremsvermögen und Bremsverhältnis. [7]

engl.: (neutron) slowing-down

franz.: ralentissement

Lit.: R. L. Murray, Nuclear Reactor Theory, Prentice-Hall, Englewood-Cliffs, N.J., 1957. – W. Riezler u. W. Walcher, Kerntechnik, B. G. Teubner, Stuttgart, 1958. – S. Glasstone u. M. C. Edlund, Elements of Nuclear Reactor Theory, van Nostrand, New York, 1955. – F. Cap, Physik und Technik der Atomreaktoren, Springer, Wien, 1957.

Neutronendetektoren, allgemeine Bezeichnung für alle Meßgeräte zum Nachweis von Neutronen. Alle N. beruhen letzten Endes auf der Umwandlung von Neutronenstrahlung in ionisierende Strahlungen mittels sog. Strahlenwandler. Als solche dienen hier normaler-

weise a) bei thermischen und mittelschnellen Neutronen bestimmte Isotope mit besonders großem Wirkungsquerschnitt für Kernreaktionen, bei denen Alpha-, Beta-, Protonen-, Deuteronen-Strahlen ausgesandt werden, b) bei sehr schnellen Neutronen Stoffe mit leichten Atomkernen, die nach dem Neutronenstoß selbst als ionisierende Strahlung wirken. Die besondere Bedeutung der N. für die Reaktorsteuerung beruht vor allem auf der geringen Meßverzögerung ($< 10^{-2}$ s) mancher Typen und dem ungewöhnlich großen Empfindlichkeitsbereich (bis $1:10^7$). S. a. Gamma-N-Verhältnis.

Die wichtigsten N. für thermische und langsame Neutronen sind:

1. Zählrohre oder Ionisationskammern mit einem borhaltigen Wand- oder Elektrodenbelag

2. Zählrohre und Ionisationskammern mit einer Füllung, die z. B. BF_3 als Gas enthält. Die Borverbindungen können das Isotop ^{10}B angereichert enthalten, wodurch die Empfindlichkeit steigt.

Reaktionen:

$$^{10}B\ (n, \alpha)\ ^7Li \quad + 2{,}79\ \text{eMV}$$
$$^{10}B\ (n, \alpha)\ ^7Li^* + 2{,}31\ \text{MeV}$$
$$^7Li^* \rightarrow {}^7Li + 0{,}478\ \text{MeV Gamma.}$$

Der Wirkungsquerschnitt verläuft bis etwa 10 keV mit $1/v$. Bei Benutzung eines $1/v$ Absorbers ist die Zahl der Impulse in der Zeiteinheit proportional der Neutronendichte. Der α-Li-Impuls ist in Proportionalzählern gut vom Gammahintergrund zu unterscheiden.

3. Spaltkammern, bei denen eine Schicht mit spaltbarem Material in einer Ionisationskammer angebracht wird. Die Impulse der Spaltprodukte sind gegen starken Gammahintergrund noch besser zu unterscheiden als die α-Li-Impulse der ^{10}B enthaltenden Zähler. In extrem starken Gammastrahlungsfeldern werden Sonderformen von Spaltkammern benützt, die zwei eng benachbarte annähernd gleiche Volumina besitzen, von denen nur eines eine Schicht von Spaltmaterial besitzt. Die Ionisationsströme werden gegeneinander geschal-

tet, so daß sich die dem Gammahintergrund zugehörigen Anteile kompensieren.
4. Aktivierungs-Detektoren. Proben geeigneter Materialien werden dem Neutronenbeschuß ausgesetzt und die induzierte Aktivität gemessen. Häufig benützt: Indiumfolien, Goldfolien, Mn 55, Rh 103 und Ag 107. Werden Indiumfolien (bis etwa 125 mg/cm^2) mit einem Cadmiumüberzug ($\leq$ 1,5 mm) versehen, so können sie als Detektoren für epithermische Neutronen dienen.
5. Photographische Emulsionen. Diese werden zweckmäßigerweise mit Bor- oder Lithiumverbindungen getränkt. Mikroskopische Auszählung der entwickelten Alpha-, Tritium- oder Lithiumspuren, die sich gut vom Gammahintergrund abheben.
6. Szintillations-Zähler mit geeigneten Leuchtsubstanzen (z. B. LiJ Kristalle mit TlJ, borhaltige Kristalle oder Lösungen).
b) Für schnelle Neutronen.
Prozesse mit schnellen Neutronen besitzen meist kleinen Wirkungsquerschnitt. Daher wird man nach Möglichkeit Bremssubstanzen benutzen und langsame Neutronen zählen. Bei Neutronenenergien bis zu einigen 1000 eV kann man einen Neutronenstrahl auf eine Substanz mit Resonanzstreuung (Na, Mn, Co) fallen lassen, die gestreuten Neutronen bremsen und in thermischem Zustand zählen.
1. Zählrohre und Ionisationskammern mit wasserstoffhaltiger Füllung zeigen Ionisation durch *Rückstoßprotonen, die gemessen werden kann.
2. Spaltkammern mit Thorium oder U 238-Schichten sind bei Energien über 1 MeV brauchbar.
3. Aktivierungs-Detektoren. Aktivierung durch (n, 2n) oder (n, p) Prozesse lassen Neutronenenergien von 1 bis etwa 25 MeV sowie entsprechenden Neutronenfluß messen.
4. Photographische Schichten. Es werden die Spuren von Rückstoßprotonen gemessen. Auch Lithium-haltige Schichten sind brauchbar.
5. Szintillations-Zähler mit wasserstoffhaltigen Substanzen (Anthracen, Terphenyl u. a.) ergeben gute Wirkungsgrade. Gemessen werden Rückstoßprotonen.

Zur Unterscheidung gegen Gamma-ausgelöstes Leuchten werden Koinzidenzverfahren mit mehreren Kristallen benutzt. [6, 9]
engl.: neutron detectors
franz.: détecteurs de neutrons

Neutronendichte, die Anzahl der Neutronen pro cm^3. Es ist (z. B. in der *Transporttheorie) oft nötig, mehr zu differenzieren und die N. als Funktion von Ort, Zeit, Energie und Flugrichtung der Neutronen aufzufassen. Man hat dann z. B. unter

$$N(\mathfrak{r}, t, E, \vec{\Omega})\, dV\, dE\, d\vec{\Omega}$$

die Zahl jener Neutronen zu verstehen, welche sich zur Zeit t und am Ort $\mathfrak{r}$ im Volumelement dV befinden, deren kinetische Energien zwischen E und $E + dE$ liegen und deren Flugrichtungen in einem kleinen Kegel der Öffnung $d\vec{\Omega}$ um $\vec{\Omega}$ liegen.
Durch Integration über alle Raumrichtungen ergibt sich aus N die gewöhnliche (skalare) N.:

$$n(\mathfrak{r}, t, E,) = \int N(\mathfrak{r}, t, E, \vec{\Omega})\, d\vec{\Omega}\,.$$

Unter $n(\mathfrak{r}, t, E)\, dV\, dE$ ist dann die Anzahl jener Neutronen zu verstehen, die sich zur Zeit t und am Ort $\mathfrak{r}$ im Volumelement dV befinden und deren kinetische Energien zwischen E und $E + dE$ liegen. Diese engere Definition der N. tritt in der *Diffusionsgleichung auf. Führt man schließlich noch die Integration über E aus, so gelangt man zu dem eingangs gegebenen elementaren Begriff der N. [13]
engl.: neutron density
franz.: densité des neutrons

Neutronendiffusion im Reaktor. Die Beschreibung der Bewegung der Neutronen auf der Basis der elementaren *Diffusionstheorie nimmt an, daß sich die Neutronen an jedem Ort und bei jeder Geschwindigkeit gleichmäßig nach allen Richtungen bewegen. Die Neutronendichte und der Neutronenfluß hängen daher nur vom Ort, der Energie und der Zeit ab. Durch Zusammenstöße mit den Atomkernen verändert sich ihre Energie. Sie wird im allgemeinen kleiner (s. Neutronenbremsung). Die Energie der Neutronen im Reaktor

überdeckt den Bereich von der Energie E_0, die sie aus der Spaltung mitbringen (im Mittel 2 MeV), bis zur thermischen Energie. Die energieabhängige Diffusion bereitet große Schwierigkeiten, weil die „Konstanten" der *Diffusionsgleichung von der Energie abhängen. Zu deren Überwindung muß man Näherungen einführen. Der bekannteste Weg führt über die *Gruppendiffusionsmethode. Man schreibt die Diffusionsgleichung für bestimmte Energieintervalle an. Innerhalb dieser Intervalle werden Diffusionskonstanten und Wirkungsquerschnitte, die streng genommen allesamt Funktionen der Energie sind, konstant gehalten.

Neutronendiffusion

Die Multiplikation der Neutronen wird wesentlich durch Neutronen emittierende Spaltprodukte bestimmt (verzögerte Neutronen). Wenn man dies einschließen will, muß man ein Gleichungssystem benutzen, bestehend aus der Diffusionsgleichung für die Neutronen

$$\frac{1}{v(E)} \cdot \frac{\partial \Phi(E, \mathfrak{r}, t)}{\partial t} = (1-\beta) f_0(E) \cdot \boldsymbol{J}\Phi + \sum_i f_i(E) \cdot \lambda_i C_i + S - \boldsymbol{K}\Phi \quad (1)$$

und der Bilanzgleichung für die bei der Spaltung gebildeten Träger verzögerter Neutronen (sechs Sorten, $i = 1 \ldots 6$):

$$\frac{\partial C_i(\mathfrak{r}, t)}{\partial t} = -\lambda_i C_i(\mathfrak{r}, t) + \beta_i \boldsymbol{J} \Phi . \quad (2)$$

Der erste Term auf der rechten Seite von (1) bedeutet die Zahl der mit einem Energiespektrum $f_0(E)$ erzeugten prompten Neutronen, wobei

$$\boldsymbol{J} \Phi = \int_{E'=0}^{\infty} \nu(E') \cdot \Sigma_f(E') \cdot \Phi(E', \mathfrak{r}, t) \, \mathrm{d}E' .$$

Der zweite Term bedeutet die mit dem jeweiligen Spektrum $f_i(E)$ erzeugten verzögerten Neutronen.

S ist eine Fremdquelle, $\boldsymbol{K} \Phi$ die Zahl der absorbierten Neutronen. Bei einem Eingruppenmodell ist

$$\boldsymbol{K}\Phi = -\operatorname{div} D \operatorname{grad} \Phi + \Sigma_a \Phi .$$

In der Gleichung (2) bedeuten $C_i(\mathfrak{r}, t)$ die Zahl der Träger verzögerter Neutronen der i-Sorte in cm^3 $(i = 1, 2 \ldots 6)$, λ_i^{-1} deren durchschnittliche Lebenszeit, β_i den Bruchteil der je Spaltung entstehenden verzögerten Neutronen der Sorte i, $\beta = \sum_i \beta_i$.

S. a. Diffusionstheorie, Diffusionsnäherung, P1-Approximation, Transporttheorie. [7]
engl.: neutron diffusion
franz.: diffusion des neutrons
Lit.: s. Neutronenbremsung.

Neutroneneinfang. Als N. bezeichnet man Kernumwandlungen, bei welchen ein auf einen Kern auftreffendes Neutron einfach dem Kern angelagert wird, ohne daß ein anderes materielles Teilchen dafür wegfliegt. Die freiwerdende Energie wird vielmehr als γ-Quant ausgesandt. Der N. stellt demnach den Kernreaktionstyp (n, γ) dar. [1]
engl.: neutron capture *franz.: capture d'un neutron*

Neutronenfluß, s. Fluß.
engl.: neutron flux
franz.: flux neutronique, flux de neutrons

Neutronenflußregelung, automatische Einstellung und Konstanthaltung des Neutronenflusses auf einen vorgegebenen Sollwert. Als Regelgröße dient der Meßwert besonderer Neutronenmeßkammern in geeigneten Meßkanälen am Rande der Spaltzone oder in der Nähe des jeweils interessierenden Experimentierorts.
Wegen der weitgehenden Proportionalität zwischen dem lokalen Neutronenfluß und der integralen Wärmeleistung wird die N. oft auch als *Leistungsregelung eingesetzt. Bei genaueren Regelungen müssen dann Eichfaktoränderungen während des Betriebes durch Flußverzerrungen bei Umladungen der Spaltzone oder bei Steuerbewegungen berücksichtigt werden. Die Neutronenflußregelung ist deshalb weniger für eine Präzisionsregelung der Leistung als zur Unterdrückung kleinerer schneller Schwankungen geeignet. Als *Stellgröße dienen *Reaktivitätssteuerungen durch besondere Regelorgane (Regelstab). Der Reaktor zeigt dabei in dem interessierenden Frequenzgebiet bis etwa 10 Hz ein angenähertes Proportional-Integral-Verhal-

ten (PI-Regelstrecke) mit einer Nachlaufzeit von ungefähr 10 s (s. a. Reaktorfrequenzgang). Zur Erzielung einer stabilen Regelung genügt es deshalb bei richtiger Verstärkungseinstellung im Prinzip, wenn der Regelantrieb bis über die Regelgrenzfrequenz (einige Hz) hinaus reines Integralverhalten (I-Regler) aufweist. Wesentliche Verbesserungen der Übergangsfunktionen lassen sich jedoch erreichen, wenn zur Regelung ein PI-Regler von etwa gleicher Nachlaufzeit wie der Reaktor eingesetzt wird. Die kritische Phasenverzögerung (bei der Kreisverstärkung 1) wird dann für Regelgrenzfrequenzen von etwa 1 Hz bis auf fast 90° zurückgedreht, so daß nur ein sehr flaches Resonanzmaximum für das geregelte System entsteht. Mit nichtlinearen *PI-Reglern, bei denen die effektive Verstärkung und die Nachlaufzeit selbst von der Amplitude abhängen, kann das gute Regelverhalten des PI-Reglers auch auf größere Amplitudenbereiche ausgedehnt werden, bei denen anderenfalls die Nichtlinearität des Reaktors störend bemerkbar wird. Durch Verwendung des Logarithmus des Neutronenflusses als Regelgröße läßt sich außerdem die Leistungsabhängigkeit der Verstärkung fast ganz eliminieren, allerdings mit entsprechendem Empfindlichkeitsverlust. Schließlich sind auch reine P-Regelungen möglich, wenn deren Grenzfrequenz ebenfalls über der Regelgrenzfrequenz liegt. Wegen der unvermeidlichen Restfehler ist diese Regelung jedoch weniger zu empfehlen. Alle sonstigen Ausführungsformen von Reaktorreglern lassen sich unschwer sinngemäß auf einen der genannten Reglertypen zurückführen. [9]

engl.: neutron flux fine control
franz.: réglage du flux neutronique
Lit.: s. Regelung.

Neutronenflußüberwachung, Teilbereich der allgemeinen Überwachungseinrichtungen eines Reaktors zur Messung und Meldung des jeweiligen Neutronenflusses. Die besondere Bedeutung der N. beruht auf den extrem großen Meßbereichen und Meßgeschwindigkeiten der *Neutronendetektoren, durch die indirekt eine ununterbrochene sehr schnelle Leistungsmessung

ermöglicht wird. S. a. Start, Neutronenflußregelung, Grenzperiode. [9]
engl.: neutron flux measuring
franz.: contrôle du flux de neutrons

Neutronengruppe. Hierunter versteht man
1. die Gesamtzahl der Neutronen in einem bestimmten endlichen Energieintervall. In der *Gruppendiffusionsmethode wird der Energiebereich, den Neutronen im Reaktor durchlaufen, und der von der Spaltenergie (1 ... 10 MeV) bis zur thermischen Energie (~1/40 eV) herabreicht, in eine Anzahl Intervalle unterteilt, um die örtliche Bewegung von Neutronen unter Berücksichtigung ihrer Energieabnahme beschreiben zu können.
2. diejenigen Neutronen, die über den gleichen Mutterkern in bestimmter Weise verzögert nach der Spaltung entstehen. S. Neutronen, verzögerte. [7]
engl.: neutron group
franz.: groupe de neutrons

Neutronenhärtung, s. Härtung des Neutronenspektrums.

Neutroneninhalt, verallgemeinerter. Der Neutroneninhalt eines Reaktors ist gegeben durch

$$N(t) = \int\limits_R \int\limits_0^\infty \frac{1}{v}\, \Phi(\mathfrak{r}, E, t)\, \mathrm{d}E\, \mathrm{d}V\,,$$

wobei E den Neutronenfluß und v die Neutronengeschwindigkeit bedeutet. In der Reaktorkinetik wird mitunter der v. N., auch „gewogener“ Neutroneninhalt bzw. Gesamteinfluß, definiert durch

$$n(t) = \int\limits_R \int\limits_0^\infty \frac{1}{v}\, \Phi^{+}(\mathfrak{r}, E) \cdot \Phi(\mathfrak{r}, E, t)\, \mathrm{d}E\, \mathrm{d}V$$

verwendet. Unter Φ^{+} ist die *Einflußfunktion zu verstehen. Die Größe $n(t)$ bringt den Einfluß der im Zeitpunkt t im Reaktor vorhandenen Neutronen (unter Berücksichtigung von Ort und Energie) auf den ferneren Verlauf der Kettenreaktion zum Ausdruck. Der v. N.

ist ein Maß für den Reaktorzustand. [13]
engl.: total neutron importance
franz.: importance neutronique totale

Neutroneninterferenz. Die Wellenfronten von Neutronen, in Materie abgelenkt ohne Energie zu verlieren, können phasenrichtig summiert werden; sie liefern also Interferenzen. Diese Tatsache nützt man, wie bei Röntgenstrahlen, zu Strukturuntersuchung aus (s. Neutronenbeugung). Eine N. ist also das Abbild einer bestimmten Ebene im Kristallgitter, s. Neutronenwellenlänge, Materiewelle, Elektronenwelle, Elektroneninterferenz. [26]
engl.: neutron interference
franz.: interférence neutronique

Neutronenkomponente der kosmischen *Strahlung ist jener Teil, der aus Neutronen besteht. Man unterscheidet zwei Zweige, die verschiedene Energien haben. Der erste gehört zur primären Komponente und umfaßt die Teilchen mit relativistischen Energien $E > 10^9$ eV. Der zweite Zweig erfaßt die nicht-relativistischen Teilchen. In diesem Bereich ist für das Verhalten der Protonen nicht nur die Kernwechselwirkung bedeutungsvoll, sondern auch der Energieverlust durch Ionisierung der Materie. Dies bringt eine sehr viel stärkere Absorption mit sich, so daß in diesem Bereich praktisch nur eine N. besteht. Die Neutronen dieser Gruppe sind keineswegs ausschließlich als Enden der energiereichen primären Teilchen aufzufassen. Vielmehr werden durch Kerntreffer der primären Strahlen Sekundärteilchen ausgelöst, die eine Energie um und unter 10^8 eV bekommen (s. Kernexplosion). Die energiearme Gruppe von Neutronen ist um Größenordnungen häufiger als die energiereiche. Sie zeigt eine Verteilung in der Atmosphäre, die durch Diffusion hervorgerufen sein kann. Die N. der kosmischen Strahlung liefert für Reaktoren immer die erforderlichen Zündneutronen, allerdings erfolgt dann der Start sehr langsam. [7]
engl.: neutron component
franz.: composante neutronique

Neutronenlebensdauer, 1. die *Lebensdauer λ eines Neutrons gegenüber radioaktiven Zerfall in Proton und Elektron, $\lambda = 13$ min,

2. die *Lebensdauer l eines diffundierenden thermischen Neutrons in einem Medium, speziell im Reaktor. l ist die mittlere Zeit bis zur Absorption im Brennstoff, Moderator oder Strukturmaterial. Je nach Reaktortyp liegt l zwischen 10^{-4} und 10^{-3} s. [7]
engl.: neutron life time
franz.: vie moyenne du neutron

Neutronenökonomie. Hiermit bezeichnet man die mehr oder weniger gute Ausnutzung von Neutronen im Sinne der Erhaltung einer Kettenreaktion und eventuell auch im Hinblick auf eine Erzeugung neuen spaltbaren Materials in einem Konverter oder Brüter. [7]
engl.: neutron economy
franz.: économie des neutrons

Neutronenquelle heißt jede Anordnung bzw. Mischung von Materie, welche freie Neutronen mit genügender Ausbeute liefert. Vier verschiedene Gruppen von N. lassen sich unterscheiden:

a) Man mischt einen α-Strahler mit einem Kern, der eine (α, n)-Reaktion macht, z. B. Radium und Beryllium, Plutonium und Beryllium oder (relativ ungewöhnlich) Radium und Fluor:

$$^{9}\mathrm{Be}\ (\alpha, \mathrm{n})\ ^{12}\mathrm{C}\ ;$$
$$^{19}\mathrm{F}\ (\alpha, \mathrm{n})\ ^{22}\mathrm{Na}\ .$$

Derartige Quellen unterscheiden sich im Energiespektrum und in der Intensität der erzeugten Neutronen. Die Ausbeute einer Ra-Be-Quelle ist etwa vier Neutronen auf 10^4 α-Teilchen. Die Verwendung von Plutonium an Stelle von Radium hat den Vorteil, monoenergetische Neutronen zu liefern, da praktisch keine Folgeprodukte wie beim Ra α-Teilchen anderer Energie aussenden.

b) Analog bekommt man Neutronen über die (γ, n)-Reaktion, s. Photoneutronen.

c) Man beschießt geeignete Materie mit energiereichen Deuteronen. Dabei treten z. B. folgende Kernreaktionen ein:

$$^{2}\mathrm{H}\ (\mathrm{d}, \mathrm{n})\ ^{3}\mathrm{He};\quad ^{9}\mathrm{Be}\ (\mathrm{d}, \mathrm{n})\ ^{10}\mathrm{B};$$
$$^{7}\mathrm{Li}\ (\mathrm{d}, \mathrm{n})\ 2\ ^{4}\mathrm{He}.$$

Hierzu ist eine Beschleunigungsanlage notwendig. Die entstehenden Neutronen haben eine durch die Energie der auslösenden Deuteronen bestimmte Energie. Unter-

halb einer Deuteronenenergie von 600 keV ist die Ausbeute bei der D-D-Reaktion am größten. Oberhalb überwiegen die beiden anderen.

d) Die intensivste N. ist der Reaktor. Der Neutronenfluß im Inneren des Reaktors erreicht Werte von 10^{12} bis 10^{14} Neutronen/cm^2 s. Das Energiespektrum dieser Neutronen reicht von 10 MeV bis zur thermischen Energie (1/40 eV). Durch geeignete Geräte kann man Neutronen bestimmter Energie von 0,003 bis 10^4 eV aussieben (s. Chopper; Säule, thermische, Neutronenaktivierung). [1, 7]

engl.: neutron source *franz.: source de neutrons*

Lit.: s. Neutron.

Neutronenquelle im Reaktor. Die kosmische *Strahlung und die spontanen Spaltungen erzeugen in jedem Reaktor Neutronen und bilden derart eine, wenn auch sehr schwache, äußere Quelle. Sie reicht im Prinzip für das Anfahren eines Reaktors aus. Sie liefern jedoch einen zu geringen Beitrag, um von Anfang an einen genügend verläßlich meßbaren Neutronenfluß zu geben. Äußere Quellen werden, solange der Reaktor noch unterkritisch ist, mit der unterkritischen Verstärkung $1/(1-k)$ vervielfacht. Die sehr schwachen natürlichen Quellen würden von den Meßinstrumenten erst erfaßt werden, wenn der Reaktor fast kritisch geworden ist. Um dieses Gefahrenmoment auszuschalten, versieht man Reaktoren meist mit einer künstlichen N., um schon für kleine Werte von k einen gut überwachbaren Neutronenfluß zu erhalten. Bezüglich der Kinetik des Anfahrens mit einer N., s. unterkritische Multiplikation. Von den üblichen Brennstoffen ^{239}Pu, ^{238}U, ^{235}U, ^{233}U, ^{232}Th hat ^{239}Pu mit 2 bis $3 \cdot 10^{-2}$ Neutr./g s die größte spezifische Neutronenaktivität. Im Verhältnis dazu ist die Quellstärke bei ^{238}U etwa 0,6mal, bei ^{235}U 0,025-, ^{233}U 0,017-, ^{232}Th 0,0035mal kleiner. Die mittlere Brennstoffdichte in Reaktoren erstreckt sich andererseits von etwa 5 g/cm^3 bei thermischen Reaktoren mit natürlichem Uran bis auf etwa $5 \cdot 10^{-4}$ g/cm^3 bei angereicherten thermischen Reaktoren. Dementsprechend ergeben sich für die spezifischen Quellstärken s durch spontane Spaltung Werte zwischen 1 und 10^{-5} Neutr./cm^3 s. Für thermische

Reaktoren mit natürlichem Uran liegt *s* zwischen 1 und 10^{-1} Neutr./cm^3 s.

Als künstliche N. finden die üblichen (Ra–Be)-, (Po–Be)- oder (Pu–Be)-Quellen Verwendung, die jeweils bei höheren Neutronenflüssen aus der Spaltzone herausgezogen werden. Damit lassen sich normalerweise ohne übermäßigen Aufwand ausreichende Startneutronenflüsse zwischen etwa 10^2 und 10^3 Neutr./cm^2 s erzielen. [9, 13]

engl.: external neutron source

franz.: source extérieure

Lit.: S. Glasstone, Principles of Nuclear Reactor Engineering, D. van Nostrand Comp., New York, 1955. – The Reactor Handbook, Vol. 1, Physics, McGraw-Hill, New York, 1955.

Neutronenquellstärke, a) bei einer Neutronenquelle: Zahl der von der Quelle je Sekunde emittierten Neutronen. b) beim Reaktor, integral: Anzahl der in ein Volumen pro Zeiteinheit durch andere als Diffusionsprozesse neu hinzukommende Neutronen, spezifisch: Anzahl der pro Zeit- und Volumeneinheit durch andere als Diffusionsprozesse neu hinzukommende Neutronen. Man kann weiterhin zwischen der eigentlichen N. und einer fiktiven N. unterscheiden, bei der die Neutronen nicht neu erzeugt werden, sondern nur in einen anderen Bereich der Energie- und Richtungsverteilung eintreten. Die spezifische N. wird im allgemeinen in Neutr./cm^2 s gemessen. [9]

engl.: neutron source strength

franz.: puissance des sources de neutrons, taux de production des n.

Neutronenspektrometrie, die Zerlegung von Neutronenstrahlen uneinheitlicher Geschwindigkeit in Anteile einheitlicher Geschwindigkeit. Die N. geht auf zwei ganz verschiedenen Wegen vor. Für Neutronenstrahlen sehr niedriger Energie (einige keV bis herunter zu 0,003 eV; thermische Neutronen) ist die Geschwindigkeit genügend niedrig, um mechanische oder magnetische Geschwindigkeitsfilter anwenden zu können, die aus einem Neutronenstrahl uneinheitlicher Geschwindigkeit nur die Neutronen durchlassen, welche eine ganz bestimmte Geschwindigkeit haben.

Der andere Weg der Trennung beruht darauf, daß die de Broglie-Wellenlänge (s. Materiewelle)

der Neutronenstrahlen bei niedriger Energie in die Größenordnung der Wellenlänge der Röntgen-Strahlen fällt (bei 1 eV Neutronenenergie beträgt die de Broglie-Wellenlänge 0,27 Å), so daß mit denselben Methoden wie bei jenen eine Spektroskopie mit Kristallgitter-Beugung durchgeführt werden kann. [1]
engl.: neutron spectroscopy
franz.: spectrométrie neutronique

Neutronenspektrum wird meistens im Sinne von Spektrum der Neutronen einer *Neutronenquelle und Spektrum der Spaltneutronen = *Spaltspektrum gebraucht. [7]
engl.: neutron spectrum
franz.: spectre des neutrons (de fission)

Neutronenstrahlen sind Strahlen, die durch rasch bewegte Neutronen gebildet werden. Sie gehören demnach zu den Korpuskularstrahlen, haben aber der Ladungslosigkeit ihrer Teilchen wegen wesentlich andere Eigenschaften als Strahlen geladener Teilchen, z. B. Elektronenstrahlen, Protonenstrahlen, α-Strahlen usw.

Man kann N. ausschließlich durch Kernumwandlungen (s. Neutronenquellen) erzeugen. Eine Nachbeschleunigung ist nicht möglich, da die Neutronen ungeladen sind. Die jeweilige Höchstenergie ist also durch den betreffenden Kernprozeß und die Energie der Geschoßteilchen gegeben.

Andererseits kann die Energie von N. fast beliebig herabgesetzt werden, indem man sie durch dicke Schichten von Stoffen gehen läßt, in welchen sie durch elastische Zusammenstöße mit den Kernen Bewegungsenergie an diese abgeben. Besonders wirksam sind Stoffe, welche Wasserstoff enthalten (z. B. Paraffin), da die Protonen wegen ihrer nahezu gleichen Masse besonders viel Energie von den Neutronen übernehmen. Hierbei werden die Neutronen so lange abgebremst, bis sie die mittlere Energie der Wärmebewegung erreicht haben (thermische Neutronen; Energie nur noch $^1/_{40}$ eV). Aus einem N., der ein Gemisch der verschiedensten Geschwindigkeiten darstellt, kann man durch die Methoden der Neutronenspektrometrie einen N. einheitlicher Geschwindigkeit aussieben.

N. lassen sich heute in dem riesigen Energieintervall von 0,003 eV (untere Grenze der thermischen Neutronen; Geschwindigkeit ca. 750 m/s) bis zu über 1000 MeV (fast Lichtgeschwindigkeit) erzeugen und untersuchen.
Die Ladungslosigkeit der N. bedingt, daß sie keine Ablenkung im elektrischen oder magnetischen Feld erleiden und daß sie beim Durchgang durch Materie die Atome nicht ionisieren. Sie ergeben daher auch keine Bahnspur in der Nebelkammer oder in der Photoplatte. Trotzdem können sie in einer wasserstoffgefüllten Nebelkammer erkannt werden, da die von den Neutronen angestoßenen Protonen (Rückstoßprotonen) Spuren ergeben.
Da die N. nicht ionisieren, können sie Energieverluste nur durch Kerntreffer erleiden. Daher rührt die außerordentliche Durchdringungsfähigkeit, die diejenige der γ-Strahlen weit übertrifft.
N. haben in einem schweren Metall wie Blei bei 100 MeV Energie eine mittlere freie Weglänge von fast 7 cm, bei 1 MeV 6 cm und bei 20 000 eV noch fast 3 cm, während bei γ-Strahlen (bzw. R ö n t g e n - Strahlen) die entsprechenden Ziffern 1 cm, 1,2 cm und 0,01 mm betragen. Schwere Elemente sind daher für die Abschirmung gegen N. nicht geeignet. Es gibt jedoch Elemente, wie z. B. Cadmium, die N. in bestimmten Energiebereichen quantitativ a b s o r b i e r e n. Es handelt sich hierbei oft um *Resonanzprozesse in diesen Kernen, bei denen extrem große Wirkungsquerschnitte auftreten.
N. üben biologische Wirkungen aus, die denen der R ö n t g e n - bzw. γ-Strahlen sehr ähnlich sind und bei größerer Intensität oder längerer Zeitdauer wie jene äußerst gefährlich werden können. [1]
engl.: neutron rays
franz.: rayons de neutrons, radiation neutronique
Lit.: W. Riezler, Kernphysik, 6. Aufl., Oldenbourg, München, 1958.

Neutronenstrahler, s. Nachtrag.

Neutronentemperatur, s. Nachtrag.

Neutronenüberschuß. Alle Kerne mit Ausnahme einiger weniger unter den allerleichtesten enthalten entweder gleich viel oder aber mehr Neutronen als Protonen. Die Differenz der Neutronenzahl und der Pro-

tonenzahl wird als N. bezeichnet. Sie steigt bis auf 58 bei den schwersten stabilen Kernen.
Manchmal bezeichnet man als N. auch die Tatsache, daß ein Kern mehr Neutronen enthält, als seiner stabilen Zusammensetzung entspricht. Solche Kerne sind β-radioaktiv; sie finden sich in ausgeprägtester Form unter den Bruchstücken der Kernspaltung. [1]
engl.: neutron excess *franz.: excès de neutrons*

Neutronenumwandler, s. Flußumwandler.

Neutronenvermehrung, Zunahme der Neutronen, bezogen auf
1. Spaltung. Verursacht ein Neutron eine Kernspaltung, so entstehen dabei ν andere Neutronen, die eine höhere Energie haben. ν hängt schwach von der Energie des auslösenden Neutrons ab. Wenn das auslösende Neutron thermische Energie hat, gibt die nachstehende Tabelle die Ausbeute ν für spaltbare Kerne.

Tabelle 1. Vermehrungskoeffizienten für thermische Spaltungen

	Uran 233	Uran 235	Plutonium 239
ν	2,51 ± 0,03	2,47 ± 0,03	2,91 ± 0,04
η	2,29 ± 0,03	2,07 ± 0,02	2,10 ± 0,03

2. ein vom spaltbaren Kern, z. B. ^{235}U, absorbiertes Neutron. Da nicht jede Neutronenabsorption bei einem spaltbaren Kern wirklich zur Spaltung führt, ist die hier gemeinte Vermehrung (Ausbeute) η geringer als die unter 1. Es gilt

$$\eta = \nu \cdot \frac{\sigma_f}{\sigma_f + \sigma_e}$$

(σ_f Spaltquerschnitt, σ_e Einfangquerschnitt unter Emission eines γ-Quants). Die Werte von η sind gleichfalls in der Tabelle aufgeführt.
3. ein im Brennstoff absorbiertes Neutron. Der Brennstoff kann neben spaltbaren Atomkernen auch nicht spaltbare enthalten, z. B. ^{235}U und ^{238}U. Der Kern ^{235}U absorbiert Neutronen unter nachfolgender Spaltung oder γ-Emission, s. 2. ^{238}U absorbiert thermische

Neutronen nur unter Emission von einem γ-Quant. Daher ist der hier auftretende Vermehrungsfaktor $\eta' < \eta$ und vom Mischungsverhältnis der Isotope abhängig.

4. ein einmaliges Durchlaufen der Reaktionskette in einem unendlich ausgedehnten Medium. Wenn ein thermisches Neutron vom spaltbaren Kern absorbiert wird, so haben die entstehenden η-Neutronen eine durchschnittliche Energie von 2 MeV. Bei Zusammenstößen verlieren sie ihre Energie und werden allmählich auf thermische Energie abgebremst. Während des Bremsprozesses können sie an Brennstoffkernen Spaltungen auslösen. Dadurch entsteht eine Vermehrung der Neutronen (Faktor ε). Andererseits können sie vom Moderator oder von Brennstoffkernen (Resonanzen des ^{238}U) eingefangen werden. Daß dieses nicht geschieht, drückt die Bremsnutzung p aus. Schließlich wird das thermische Neutron nur mit einer Wahrscheinlichkeit $f < 1$ vom spaltbaren Kern eingefangen, während die Wahrscheinlichkeit $1 - f$ auf unerwünschte Absorptionen entfällt.

Damit ist der Kreis geschlossen. Die Neutronenzahl nach Durchlaufen ist

$$k_\infty = \eta \cdot \varepsilon \cdot p \cdot f,$$

k_∞ heißt Multiplikations- oder Vermehrungsfaktor der unendlich ausgedehnten Anordnung oder auch Vierfaktorformel.

5. ein einmaliges Durchlaufen der Reaktionskette in einem begrenzten Medium. Zu der Vierfaktorformel des Abschnitts 4 treten zwei Faktoren hinzu, die den Neutronenverlust durch die Oberfläche des Mediums messen. Der erste Faktor bezieht sich auf den Verlust während des Bremsprozesses; nach der Fermischen *Alterstheorie hat er die Form $e^{-B^2\tau}$ (B *Flußwölbung, τ *Fermi-Alter). Der zweite Faktor mißt den *Neutronenausfluß während der thermischen Diffusion und hat die Form $(1 + L^2 B^2)^{-1}$ (L Diffusionslänge). Somit lautet der Multiplikationsfaktor der endlichen Anordnung

$$k = \eta \cdot \varepsilon \cdot p \cdot f \cdot e^{-B^2\tau} \cdot (1 + L^2 B^2)^{-1}.$$

Dieses k wird als effektiver Multiplikationsfaktor bezeichnet. S. a. Multiplikation, unterkritische.

6. Berücksichtigt man den verschieden großen *Einfluß verschieden gelegener Reaktorzonen auf die Reaktionskette, so kommt man zu einem verallgemeinerten *Multiplikationsfaktor, bei dessen Formulierung man auch frei von den speziellen Annahmen der Fermischen Alterstheorie ist. [7]

engl.: neutron multiplication

franz.: multiplication des neutrons

Lit.: s. Neutronenbremsung.

Neutronenwellenlänge. Beim Licht ist die Zuordnung der Energie E und des Impulses p der Lichtquanten zur Frequenz ν und Wellenlänge λ durch die Gleichungen $E = h\,\nu = h\,c/\lambda$ und $p = h\,\nu/c = h\,\lambda$ gegeben. De Broglie übertrug diese Formeln versuchsweise auf Materieteilchen der Masse m, die sich mit der Geschwindigkeit v bewegen, und erhielt aus der letzten der beiden Beziehungen durch Einsetzen der Teilchenmasse und -Geschwindigkeit sofort die einem solchen Teilchen zuzuordnende Wellenlänge:

$$\lambda = \frac{h}{p} - \frac{h}{m \cdot v}\,.$$

Wird in dieser Formel für m die Neutronenmasse eingesetzt und für v die Geschwindigkeit des Neutrons, so ergibt sich sofort, die diesem Neutron zuzuordnende Wellenlänge. [28]

engl.: neutron wavelength

franz.: longueur d'onde de neutrons

Lit.: W. Finkelnburg, Einf. in die Atomphysik, Springer, Berlin, 1956.

Neutronenzählrohr, s. Neutronendetektoren.

engl.: neutron counter *franz.: compteur de neutrons*

Nichtgleichgewichtserscheinungen in Gasen, s. Gastheorie, kinetische und Transporterscheinungen.

Nickel (Ni), Metall mit der Dichte 8,9; Ordnungszahl 28, Atomgewicht 58,7. Schmelzpunkt 1455° C, Siedepunkt 2730 °C. Absorptionsquerschnitt für thermische Neutronen $\Sigma_a = 0{,}40\ \mathrm{cm}^{-1}$. Kristallstruktur: kubisch flächenzentriert. Unterhalb 358 °C ist N. ferromagnetisch.

Reines N. wird häufig für *Plattierungen und galvanische Überzüge verwendet. Von großer Bedeutung ist N. als Legierungsbestandteil von temperatur- und kor-

rosionsbeständigen *Stählen, von magnetischen Werkstoffen, *Monelmetall und anderen Legierungen. [4]
engl.: nickel
franz.: nickel

Nickel 63 und 65. Von Ni erhält man durch Bestrahlung im Atomreaktor nur das kurzlebige Isotop 65 und das Isotop 63, welches eine sehr weiche Betastrahlung besitzt. Zur radioaktiven *Markierung des Nickels eignet sich jedoch oftmals wegen der chemischen Verwandtschaft auch Kobalt 60. Bei der Neutronenbestrahlung von metallischem Ni entstehen meist auch die radioaktiven Kobaltisotope 58 und 60, da Ni sehr schwer völlig kobaltfrei darzustellen ist. [16]

Isotope	Halbwertszeit	β-Strahlung MeV	γ-Strahlung MeV
^{63}Ni	80 Jahre	0,063	—
^{65}Ni	2,56 Stunden	0,6 ... 2,1	0,4 ... 1,5
^{58}Co	71 Tage	β^+ 0,48	0,81
^{60}Co	5,2 Jahre	0,31	1,17 1,33

Niederschlag, aktiver, 1. die beim Zerfall der gasförmigen Glieder natürlicher radioaktiver Familien (Thoron, Radon, Aktinon) entstehenden radioaktiven festen Produkte. 2. Syn. zu Niederschlag, radioaktiver.
engl.: radioactive deposit
franz.: dépôt radioactif, précipitation radioactive

Niederschlag, radioaktiver. 1. Bezeichnung für die g e s a m t e Aktivität, die von Atombombenexplosionen herrührt und auf die Erde gelangt.
2. Bezeichnung für diejenige Aktivität, die in Regenschauern auf die Erde gelangt.
Die bei der Explosion von Atombomben entstehenden Spaltprodukte lagern sich an die in der Atmosphäre natürlicherweise vorhandenen Staubteilchen an. Diese können direkt ausfallen oder wirken als Kondensationskerne für eine Tröpfchenbildung, die bei genügender Größe als Regenschauer auf die Erde gelangen. Die Zusammensetzung des r. N. hängt von der Zeit zwischen der Explosion der Bomben und der Messung

ab. Im allgemeinen sind Spaltprodukte mit Halbwertzeiten von etwa 10–60 Tagen vorherrschend. Man fand empirisch, daß die Spaltproduktaktivität in Zeiträumen bis zu Monaten nach der Explosion mit $t^{-1,2}$ abfällt. Man unterscheidet den lokalen r. N., der in der Umgebung des Ortes der Explosion niedergeht und den globalen r. N., der durch die Verteilung der Aktivität in der Atmosphäre entsteht und praktisch auf der gesamten Erde zu messen ist. Die Aktivität des r. N. ist meteorologischen Schwankungen unterworfen.
Außer den künstlichen Spaltprodukten sind auch natürliche radioaktive Substanzen im Regen vorhanden. [7, 17]
engl.: radioactive fall-out
franz.: 1. *retombées radioactives;*
2. *précipitations radioactives*

Niob (Nb), Schwermetall mit der Dichte 8,57; Ordnungszahl 41, Atomgewicht 92,9. Schmelztemperatur ungefähr 2415 °C. Absorptionsquerschnitt für thermische Neutronen $\Sigma_1 = 0{,}062\ \text{cm}^{-1}$. Kristallstruktur: kubisch raumzentriert.
Die Herstellung des Metalles erfolgte bisher hauptsächlich auf *pulvermetallurgischem Wege. Wegen seines kleinen Absorptionsvermögens für Neutronen kommt N. als Werkstoff im Reaktorbau in Betracht. [4]
engl.: niobium
franz.: niobium

Nobelium, Transuran der Ordnungszahl 102. Das Isotop $^{253}_{102}$No wurde im Jahre 1957 im Nobelinstitut der Universität Stockholm nach Beschießung von $^{254}_{96}$Cm mit $^{12}_{6}$C als α-Strahler mit 10 min Halbwertszeit entdeckt. Die Deutung erwies sich als ein Irrtum. Daher liegt der Name des Elements mit Z = 102 nicht fest. Dagegen wurde von Seaborg u. a. in Berkeley durch Beschießen von $^{250}_{100}$Fm ein Isotop mit A = 254 als α-Strahler mit 3 s Halbwertszeit gefunden. [7]

Nordrhein-Westfalen, gemeinsame Atomforschungsanlage des Landes, s. Nachtrag.

Normierung von **Eigenfunktionen.** Homogene Gleichungen, auch Differential- und Integralgleichungen, können mit einem beliebigen Zahlenfaktor multipliziert werden, ohne daß der Wert der Unbekannten da-

durch beeinflußt wird. Die N. ist eine den Gleichungen hinzugefügte Forderung, durch die diese Unbestimmtheit aufgehoben wird. Hat man etwa ein differentielles Eigenwertproblem, bei dem irgendein Differentialoperator Q auf eine Eigenfunktion ψ wirkt:

$$Q\,\psi = E\,\psi$$

(E ist der Eigenwert des Operators Q, der zur Eigenfunktion ψ gehört, E und ψ sind gesucht), so wird die Lösung der Differentialgleichung der zusätzlichen Bedingung

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi^*(x) \cdot \psi(x)\, dx = 1$$

unterworfen. Die Koordinate x steht für alle Variablen, von denen Q abhängt. ψ^* ist konjugiert komplex zu ψ. Eine derartige N. ist für die Interpretation der physikalischen Bedeutung von ψ bequem und zweckmäßig. [7]

engl.: normalisation of eigenfunctions
franz.: normalisation des fonctions propres

Notabschaltung, irreversible schnelle *Abschaltung eines Reaktors im Katastrophenfall. Als Abschaltverfahren werden häufig Injektionen von stark absorbierenden Salzlösungen, Staubgemischen oder Kugelkörpern in die Spaltzone angewandt. Bei Salzinjektionen sind nach Möglichkeit nur Substanzen mit mittleren Absorptionsquerschnitten zu benutzen, weil diese bei der Reinigung mit Filtern und Ionenaustauschern leichter wieder entfernt werden können als beispielsweise Cadmium. Als weitere Abschaltmethoden kommen u. U. auch mechanische Strukturänderungen in der Spaltzone, bewirkt durch leicht schmelzende Lötschichten u. dgl. in Frage. [9]

engl.: emergency shut-down
franz.: déclenchement d'urgence

Lit.: S. Glasstone, Principles of Nuclear Reactor Engineering, D. van Nostrand Comp., New York, 1955.

Notkühlkreislauf, Notkühlanlage, zusätzlicher Kreislauf für den Fall eines völligen Ausfalls des normalen Kühlmittelstromes. Der N. muß eine ausreichende Notkühlung auch dann sicherstellen, wenn nicht nur die

normalen Pumpantriebe ausgefallen sind, sondern auch die Kühlmittelumwälzung selbst durch Rohrbruch oder Leitungsverstopfung unmöglich geworden ist. Er soll deshalb nach Möglichkeit als völlig unabhängiger zusätzlicher Kühlkreislauf mit eigenen Rohrleitungen, Pumpenanlagen und Kühlmedien entwickelt werden. Ein extremes Verfahren dieser Art besteht beispielsweise im vollständigen Fluten der Reaktoranlage von einem besonderen ständig gefüllten Hochbehälter aus. Gelegentlich lassen sich streng getrennte Kühlmittelkreisläufe durch eine Mitverwendung der Rohrleitungen für den laufenden *Hülsenschadennachweis erzielen. [9]

engl.: emergency cooling system
franz.: circuit (dispositif) de refroidissement de réserve (de secours, d'urgence)

Notkühlung, umfaßt alle Maßnahmen und Einrichtungen zur Aufrechterhaltung der notwendigen Kühlung für den hochradioaktiven verbrauchten Brennstoff.

Da schon kürzere Unterbrechungen der Kühlung wegen der hohen Strahlungsleistung der Spaltprodukte zur Zerstörung der Brennstoffhülsen und damit zu schwerwiegenden radioaktiven Verseuchungen führen können, muß sichergestellt werden, daß

a) bei jedem Teilschaden in der Kühlanlage noch ein zweiter Weg für eine ausreichende N. bestehen bleibt (verschiedene Zu- und Ableitungen bis zum Brennstoff u. dgl.),

b) immer mehrere Kühlmittelreservoire und Pumpantriebsquellen vorhanden sind (Hochbehälter, Reservepumpen, mehrere Kreisläufe),

c) die Umschaltung auf das jeweilige Reservesystem schnell und sicher genug erfolgt,

d) sichere Überwachungsmöglichkeiten der Kühlwirkung unter allen Umständen bestehen bleiben. Während a) und b) vorwiegend technisch-konstruktive Aufgabestellungen umfassen, stellen c) und d) mit die schwersten Probleme bei der Planung des Sicherheitssystems dar. Der Gesamtkomplex bedarf deshalb in

jedem Fall einer ausführlichen Diskussion im Rahmen eines besonderen *Sicherheitsberichtes. [9]

engl.: emergency cooling

franz.: sécurité de refroidissement

Lit.: The Reactor Handbook, Vol. 2, Engineering, 1955, AEC (USA).

Notstromversorgung umfaßt alle Maßnahmen und Einrichtungen zur absolut sicheren kontinuierlichen Aufrechterhaltung einer genau festgelegten minimalen Stromversorgung der entscheidenden Reaktoranlagen. Die Sicherheitsbedingungen erfordern im allgemeinen eine ausreichende N. für den Notkühlkreislauf, für Umlauf und Druckhaltung der lebenswichtigen *Spülkreisläufe, für das *Sicherheitssystem einschließlich der zugehörigen Meß- und Steuereinrichtungen und die wichtigsten Einrichtungen der Schaltwarte.
Für die drei letzten Aufgaben genügen häufig verhältnismäßig kleine Akkumulatorenbatterien in direkter Pufferschaltung oder unter Zwischenschaltung eines einfachen Umformers. Im ersten Fall sind dagegen wegen der Größe der Pumpleistungen zur Abführung der *Nachwärme große Dieselaggregate oder entsprechende Kraftantriebe im allgemeinen nicht zu entbehren. Erschwerend ist dabei, daß die zulässigen Strompausen bei Vollast und unmittelbar nach einem Schnellschluß meistens nur Bruchteile von Sekunden betragen. Zur Überbrückung der unvermeidlichen Pause zum Anwerfen des Motors für die N. verwendet man deshalb häufig Kreislaufpumpen oder ständig mitlaufende Umformeraggregate mit möglichst großen Schwungmassen bzw. entsprechenden zusätzlichen Schwungrädern. Für die übrige Ausführung der N. gelten die üblichen technischen Richtlinien. [9]

engl.: emergency power source

franz.: source auxiliaire de courant de réserve;
alimentation électrique de secours

NRTS, Abk. für *National Reactor Testing Station.

NRX (National Research Experiment) ist ein schwerwassermoderierter, leichtwassergekühlter, thermischer, heterogener Reaktor mit natürlichem Uran als Brennstoff, aufgestellt im kanadischen Atomforschungszentrum in Chalk River, Ontario, Kanada.

Einerseits stellte er ein Reaktorexperiment zum Studium von Reaktoren mit hohem thermischem Fluß ($6{,}3 \cdot 10^{13}$ n/cm^2 s), zum anderen einen Forschungsreaktor und Konverter dar. Es ist bei diesem Reaktor versucht worden, die Vorteile des D_2O-moderierten mit denen des H_2O-gekühlten zu verbinden. Der große Absorptionsquerschnitt des leichten Wassers für thermische Neutronen verhindert einen Reaktorbetrieb mit natürlichem Uran und H_2O, andererseits ist H_2O das bei weitem billigste Kühlmittel. Nachteilig ist nur, daß Moderator und Kühlmittel scharf voneinander getrennt werden müssen. Abb. 1 zeigt einen Brennstoffstab und seine Anordnung im

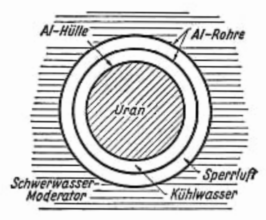
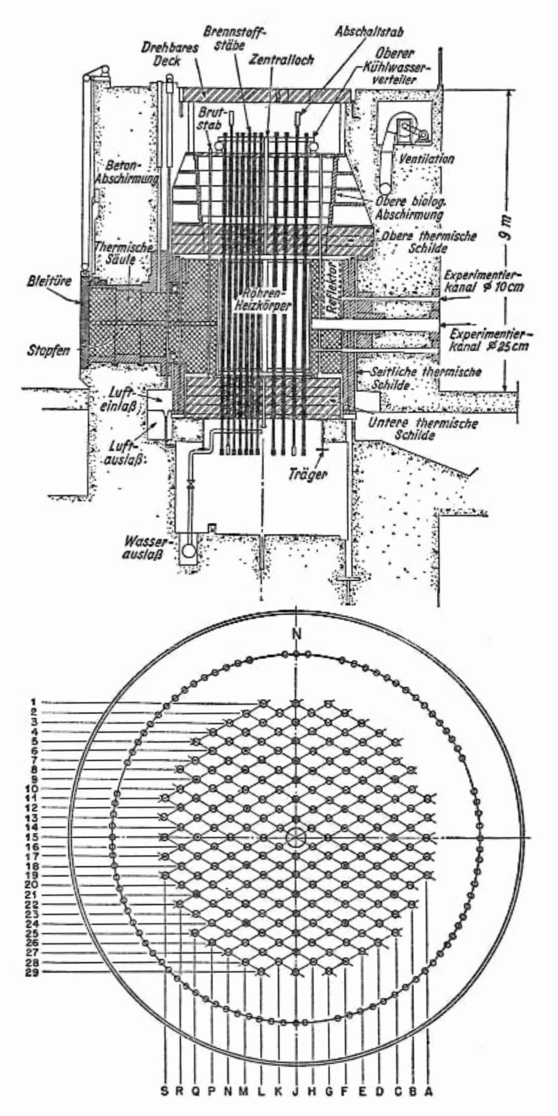


Abb. 1. NRX-Reaktor

Kühlkanal im Schnitt. Der Uranstab, dessen Al-Hülle mit Abstandsstücken versehen ist, steckt in einem weiteren Al-Rohr, das vom Kühlwasser (Flußwasser) durchströmt wird. Diese Anordnung bildet das eigentliche Brennstoffelement, das nun seinerseits in einem weiteren Al-Rohr im Reaktor hängt, durch das Luft hindurchgeblasen wird. Diese Sperrluft soll bei einem Elementbruch eine Vermengung von leichtem und schwerem Wasser verhindern, darüber hinaus soll sie eine Erwärmung des Moderators über 49 °C unterbinden. Die Abb. 2 zeigen die Anordnung der Kanäle im Reaktor (hexagonales Gitter mit 22 Ringen). Die Spaltzone umfaßt 199 solcher Kanäle, die in einem Al-Zylinder (2,66 m Durchmesser, 3,2 m Höhe) untergebracht sind. 175 Kanäle sind normalerweise mit Brennstoffelementen beschickt, 18 mit Abschaltstäben (Stahlrohre mit Borkarbidpulver) und einer mit einem Regelstab (Stahlrohre gefüllt mit Cd-Bolzen). Die

NRX



Brennstoff-
stäbe
Abschaltstab
Drehbares
Deck
Zentralloch
Oberer
Kühlwasser-
verteiler
Brut-
stab
Ventilation
Beton-
Abschirmung
Obere biolog.
Abschirmung
9 m
Obere thermische
Schilde
Thermische
Säule
Experimentier-
kanal ⌀ 10 cm
Bleitüre
Röhren-
Heizkörper
Reflektor
Experimentier-
kanal ⌀ 25 cm
Stopfen
Seitliche thermische
Schilde
Luft-
einlaß
Untere thermische
Schilde
Luft-
auslaß
Träger
Wasser-
auslaß
N
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
S R Q P N M L K J H G F E D C B A

Brennstoffstäbe sind nur auf eine Länge von 3,1 m mit Uran gefüllt, ihre Gesamtlänge beträgt 9,3 m, an beiden Enden münden sie in die Sammelkammern ein. Das Mittelloch wird zu speziellen Bestrahlungsversuchen verwendet. Gesamtgewicht des schweren Wassers 16,3 t, des Urans 9,5 t.
Die Spaltzone ist ringförmig von einem Graphitreflektor umgeben, in den 90 vertikale Löcher gebohrt sind. In diesen Löchern stecken Rohre, die mit brütbarem Material gefüllt sind, z. B. mit Thorium in der Form von Oxycarbonatkügelchen. Als thermische Schilde sind seitlich gußeiserne Platten mit Luftkühlung, ober- und unterhalb des Reaktorbehälters Stahlplatten mit Wasserkühlung angeordnet. Der seitliche biologische Schild ist eine 2,2 m dicke Betonschicht, der obere besteht aus mehreren abhebbaren Betonplatten. Höhe und Durchmesser des ganzen Reaktors betragen je 10,3 m. [25]

Lit.: Nucl. Eng. 1, Heft 3, 1956. – S. Glasstone, Principles of Nuclear Engineering, S. 804, D. van Nostrand, New York, 1956. – Progress in Nuclear Energy, Ser. II: Reactors, Vol. 1, S. 1, Pergamon Press, London.

NTP = normal temperature and pressure = Zimmertemperatur und Atmosphärendruck.

Nuclear Engineering. Nachdem die Ausnutzung der Kernenergie mehr und mehr ein technisches Ausmaß annimmt, werden in zunehmendem Maße Ingenieure zur Lösung der konstruktiven und betrieblichen Aufgaben herangezogen. Nahezu alle damit zusammenhängenden Aufgaben sind für den Ingenieur nicht neu, weil auch in der Kerntechnik die *Grundverfahren der Verbrauchsgüterindustrie angewendet werden. Allerdings ist es notwendig, eine Reihe neuer, dem Ingenieur zunächst fremder Forderungen zu berücksichtigen, z. B. extrem hohe Reinheitsgrade der verwendeten Bau- und Betriebsstoffe, Beachtung kern- und neutronenphysikalischer Forderungen und Abschirmung der auftretenden, z. T. sehr intensiven und daher gefährlichen Strahlungen. Mit diesen neuen Aufgaben hat sich der In-

---

Abb. 2 a. Vertikaler Schnitt durch den NRX-Reaktor
Abb. 2 b. NRX

genieur auseinanderzusetzen, wenn er zweckentsprechend konstruieren will. Dazu muß er lernen, die Sprache des Physikers zu verstehen, ohne aber dazu Kernphysik studieren zu müssen. Die zweckmäßige Synthese zwischen Kernphysik und Ingenieurausbildung wird in den angelsächsischen Ländern als N. E. bezeichnet. In Deutschland beginnt sich hierfür die Bezeichnung Kerntechnik oder *Kernverfahrenstechnik einzubürgern, obwohl man über die Zweckmäßigkeit dieser Benennung verschiedener Meinung sein kann. Es wird kaum möglich sein, „Keringenieure" (Nuclear Engineers) auszubilden, weil der Umfang des Arbeitsgebietes viel zu groß ist, als daß ein einzelner alles dazu erforderliche Wissen beherrschen könnte. [2]

Lit.: R. Stephenson, Introduction to Nuclear Engineering, London, 1958. – R. L. Murray, Introduction to Nuclear Engineering, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1956. – S. Glasstone, Principles of Nuclear Reactor Engineering, van Nostrand, New York, 1955. – W. Mialki, Kernverfahrenstechnik, Berlin, 1958.

nuklear, svw. den Atomkern (Nukleus) betreffend, z. B. nukleare Energie, svw. Kernenergie, nukleare Kräfte, svw. *Kernkräfte. [7]

engl.: nuclear

franz.: nucléaire

Nuklearreinheit, s. Kernreinheit.

Nukleinsäure, s. Zellkern.

engl.: nuclein acid

franz.: acide nucléique

Nukleon, gemeinsame Bezeichnung für das Proton und das Neutron, also jene Elementarteilchen, welche die zusammengesetzten Kerne aufbauen. Eine gemeinsame Benennung beider ist dadurch noch besonders nahegelegt, daß man heute geneigt ist, Proton und Neutron nur als zwei verschiedene, sich durch eine „Ladungsquantenzahl" unterscheidende Zustände e i n e s Teilchens, eben des N.s, aufzufassen. [1]

engl.: nucleon

franz.: nucléon

Nukleonenladung. 1. Mit N. kann die elektrische Ladung der Nukleonen gemeint sein, also bei einem Proton eine elektrische Elementarladung, bei einem Neutron die Elementarladung 0.

2. Des öfteren wird das Wort „Ladung" verallgemei-

nert in dem Sinne, daß es die Quellen der verschiedensten Felder bezeichnet. Die elektrische Elementarladung ist die Quelle des elektromagnetischen Feldes (M a x w e l l - Feldes), die nukleare Ladung (Nukleonenladung) ist die Quelle des Nukleonenfeldes, also des *Kernfeldes. Sie bewirkt, daß die Nukleonen im Kern zusammengehalten werden. Entsprechend bewirkt die elektrische Ladung die Bindung der Atomhülle an den Atomkern und bestimmt damit die Eigenschaften des Atoms. S. Kernkräfte. [7]
engl.: a) nuclear charge
b) mesonic charge
franz.: charge du nucléon

Nuklid, Atom, das durch seinen Kern charakterisiert ist (Protonenzahl, Neutronenzahl, Energieinhalt, Anregungszustand). Wenn von einem definierten N. gesprochen werden soll, muß das Atom eine meßbare Lebensdauer haben, i. a. $>10^{-10}$ s. Demzufolge sind Kernisomere verschiedene N., während spontan zerfallende angeregte Zustände nicht als solche angesehen werden. [7]
engl.: nuclide *franz.: nucléide*

Nulleffekt, Nullrate, Anzahl der Impulse pro Zeiteinheit, die bei einem Strahlungsdetektor durch andere Ursachen als die zu messende Strahlung auftreten. Der N. besteht aus folgenden Komponenten:

1. Kosmische Strahlung.
2. Radioaktivität der Umgebung (Wände, Luft usw). S. Raumstrahlung.
3. Natürliche Aktivität der Materialien, aus denen das Strahlungsmeßgerät gebaut ist. [3]

engl.: background *franz.: bruit de fond*

Nullreaktor, s. Nachtrag.

Nußelt-Zahl (Nu). In fast allen semiempirischen Formeln zur Bestimmung von Wärmeübergangszahlen tritt die dimensionslose N.-Z.

$$\mathrm{Nu} = \frac{\alpha\, l}{\lambda}$$

auf, wobei α die Wärmeübergangszahl, l eine kennzeichnende Länge und λ die Wärmeleitzahl ist. Die N.-Z. läßt sich deuten als Verhältnis der tatsächlichen

Wärmestromdichte $\alpha \Delta\vartheta$ zu der Wärmestromdichte $\lambda \Delta\vartheta/l$, die durch reine Leitung in einer Schicht von der Dicke l auftreten würde (s. Ähnlichkeitsgesetze und Konvektion). [5]
engl.: Nusselt-No. *franz.: nombre de Nusselt*

Nutzung, thermische, bezeichnet jenen Bruchteil der thermischen Neutronen in einem Reaktor, der von spaltbarem Material absorbiert wird. [7]
engl.: thermal utilization
franz.: facteur d'utilisation (d'efficacité) thermique

O

Oak Ridge, großes Forschungs- und Entwicklungszentrum der amerikanischen Atomenergiekommission (USAEC) in Tennessee, umfaßt:
1. Oak Ridge National Laboratory: Entwicklungsinstitut für Reaktoren, Zentralstelle der USAEC für Herstellung und kommerziellen Verkauf (einschl. Export) von radioaktiven (und stabilen) Isotopen. Betrieben durch Union Carbide Nuclear Co. der Union Carbide Corporation. Abk.: ORNL.
2. Oak Ridge Institute of Nuclear Studies: Forschungs-, Ausbildungs- und Versuchsinstitut der USAEC auf dem Gebiet der Atomforschung und Atomtechnik. Betrieben durch eine Gruppe von Universitäten unter dem gleichen Namen. Abk.: ORINS.
3. Oak Ridge School of Reactor Technology: Ausbildungsstätte für Reaktortechnik, -entwicklung und -betrieb. Abk.: ORSORT. [24]

Oak Ridge Reaktor X-10 ist einer der klassischen Reaktoren aus der Anfangszeit des Reaktorbaus. Thermisch, heterogen, graphitmoderiert und betrieben mit natürlichem Uran war er der erste durch Zwangsumlauf gekühlte Reaktor überhaupt. Die entstehende Wärme, anfänglich 1 MW, später auf 3,8 MW erhöht, wurde dabei in einem offenen Kühlkreislauf an die Atmosphäre abgegeben. Den grundsätzlichen Aufbau des Reaktors zeigt Abb. 1, im wesentlichen ein Uran-Graphitwürfel (Kantenlänge 7,3 m, Graphit-Gewicht

620 t, Urangewicht 54 t). Der Graphitblock ist aus Graphitziegeln (10 × 10 × 120 cm) zusammengesetzt (Abb. 2). Jede zweite Lage enthält Ziegel mit seit-

Oak Ridge Reaktor X-10

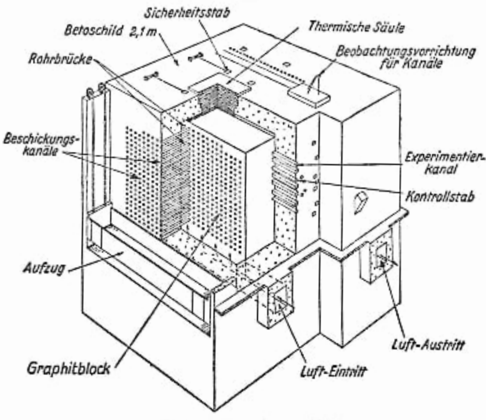


Abb. 1. Oak Ridge X-10

licher V-förmiger Nut, entsprechend gestapelt bilden zwei zusammen einen Kanal mit rechteckigem Querschnitt, in den die Uranstäbe eingeführt werden. Insgesamt 1248 Kanäle durchsetzen den Block, sie bilden ein quadratisches Gitter mit 20 cm Gitterabstand. Als Spaltstoffelemente werden Al-umhüllte zylindrische Uranstäbchen, 10 cm lang, 2,8 cm Durchmesser, Gewicht 1150 g, verwendet, je nach Lage 39 bis 54 pro Kanal. Die ganze Anordnung ist seitlich, oben und unten anliegend, vorn und hinten mit Zwischenräumen von einer im Mittel 2,1 m dicken Betonabschirmung umgeben. Die Zwischenräume dienen als Sammelkammern der Kühlluft, die von vorn nach hinten durch die

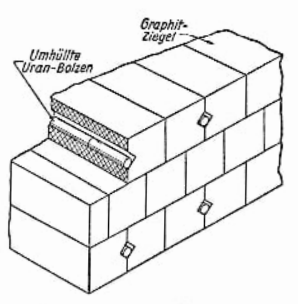


Abb. 2. Uran-Graphit-Gitter

Brennstoffkanäle hindurchgeblasen wird. Die Beschikkung der Kanäle mit Brennstoffelementen erfolgt von einer Ladebühne aus durch die vordere Betonwand, der Zwischenraum zwischen Beton und Graphit wird von geschlitzten Stahlrohren, zum besseren Kühllufteintritt, überbrückt. Die Uranstäbchen werden in entsprechender Anzahl in einen Betonkanal eingeführt und mittels einer Ladestange manuell an ihren Platz im Graphitmoderator geschoben, zum Entladen stößt man sie einfach nach hinten aus dem Kanal hinaus, sie fallen auf eine schiefe Ebene und gleiten in ein 6 m tiefes Wasserbecken, von wo aus sie mit langen Werkzeugen weitertransportiert werden. Der X-10 wird durch vier seitlich eingeführte Regelstäbe aus Borstahl gesteuert. Diesen ähnlich sind die vier Trimmstäbe, die ebenfalls von der Seite her eingreifen. Drei vertikal bewegliche Sicherheitsstäbe, Cd-gefüllte Stahlrohre, werden auch als Abschaltstäbe verwendet. Als letzte Notabschaltmöglichkeit befindet sich auf dem Reaktor ein Behälter mit Schrotkügelchen aus Borstahl, die man gegebenenfalls einfach in Löcher des Reaktors fallen läßt. X-10 besitzt eine ganze Reihe von Experimentierkanälen, die von oben und von der Seite zugänglich sind. Er dient in erster Linie zur Isotopenproduktion. Dem X-10 sehr ähnlich sind die Graphit-Reaktoren in Brookhaven und Harwell (Bepo). S. Reaktortabelle im Anhang. [25]

Lit.: S. Glasstone, Principles of Nuclear Engineering, S. 793, D. van Nostrand, New York, 1956. – Peaceful Uses of Atomic Energy, Bd. 2, Beitrag 486, Vereinte Nationen, Genf, 1955.

Oberflächenaufrauhung von Uranmetall im Reaktor. *Strahlenschaden am Uranmetall, der sich um so weniger auswirkt, je feiner das Korn im Metallgefüge ist. S. Uran. [20]

engl.: wrinkling, surface, roughening

franz.: craquellement de la surface

Oberflächendosis, s. Dosis.

engl.: surface dose

franz.: dose superficielle

Oberflächenquelle, isotrope, emittiert pro Sekunde je Oberflächeneinheit in jeder Richtung gleich. [26]

engl.: isotropic surface source

franz.: source superficielle isotrope

Oberflächenspannung der Atomkerne. Nach dem *Tröpfchenmodell läßt sich ein Atomkern mit einem Flüssigkeitstropfen vergleichen, wobei die einzelnen Nukleonen durch die nur in sehr kurze Entfernung wirkenden Kernkräfte aneinander gebunden sind. Nukleonen, die an die „Oberfläche" des „Tropfens" angrenzen, haben eine nach innen gerichtete Resultierende der Bindungskräfte. Der dadurch bedingte Energieüberschuß der Oberflächen-Nukleonen, auf 1 cm² Oberfläche umgerechnet, ist eine Größe, die genau der Oberflächenspannung der Flüssigkeiten entspricht. Sie wird O. d. A. genannt. Diese O. hat bei normalen Kernen die Größenordnung 10^{20} dyn cm^{-1} (bzw. erg cm^{-2}), ist also etwa eine Trillion mal größer als die Oberflächenspannung von Flüssigkeiten. [1]
engl.: surface tension of atomic nuclei
franz.: tension superficielle des noyaux

Oberflächenwanderung zur Trennung von Isotopen. Bei Temperaturen, bei denen die O. neben der Knudsenströmung beim Strom eines Gasgemisches durch ein poröses Medium eine beträchtliche Rolle spielt, tritt vor Erreichen des Gleichgewichts eine Anreicherung des leichten Isotops im durchströmenden Gas ein, die wesentlich stärker als die Anreicherung durch die Knudsenströmung ist. [14]
engl.: surface migration
franz.: migration superficielle

Ogra, s. Nachtrag.

Ohmartzelle, Zelle des *Kontaktpotentialelements, bezeichnet nach P. F. Ohmart, welcher Möglichkeiten zur Ausnutzung der radioaktiven Strahlungsenergie radioaktiver Stoffe nach dem Kontaktpotentialverfahren untersucht hat (s. Atombatterie). [16]
engl.: Ohmart cell
franz.: élément d'Ohmart, cellule d'Ohmart
Lit.: J. Ohmart, Appl. Phys. 22, 1504 (1951).

Ohmsche Heizung, s. Nachtrag.

Omegatron, ein Apparat, welcher gestattet, im selben Magnetfeld H sowohl die Zyklotronfrequenz

$$\omega_1 = \frac{Z\,e\,H}{M\,c}$$

eines Atomkerns (Ladung $Z e$, Masse M), d. h. die Frequenz, mit welcher er auf seiner kreisförmigen Bahn im *Zyklotron umläuft, als auch die **L a r m o r**-Frequenz desselben Atomkerns

$$\omega_2 = \frac{H \mu}{J^*} = \frac{2 \pi H \mu}{s h}$$

zu bestimmen (μ magnetisches Moment des Atomkerns, J^* Drehimpuls, s Spinquantenzahl, h Wirkungsquantum). Da das Kernmagneton

$$\mu_0 = \frac{e h}{4 \pi M_0 c}$$

ist (M_0 Protonenmasse), ergibt sich:

$$\frac{\mu}{\mu_0} = 2 s Z \cdot \frac{M_0}{M} \cdot \frac{\omega_2}{\omega_1}$$

und insbesondere für das Proton ($Z = 1, M = M_0$, $s = 1/2$):

$$\frac{\mu_P}{\mu_0} = \frac{\omega_2}{\omega_1} .$$

Man erhält also das magnetische Moment direkt in Kernmagnetonen, wobei die Stärke des Magnetfeldes, die nicht so genau gemessen werden kann wie die Frequenzen ω_1 und ω_2, herausfällt. Die Bestimmung des magnetischen Moments μ_P des Protons, die 1950 am National Bureau of Standards in Washington mit dem O. ausgeführt wurde, lieferte 2,7927 Kernmagnetonen. [1]

engl.: omegatron *franz.: omégatron*

OMRE (Organic Moderated Reactor Experiment), Standort National Reactor Testing Station Arco, Idaho, USA. Dieses Experiment dient zur Erprobung organischer Flüssigkeiten als Moderatoren und Kühlmittel in Leistungsreaktoren. Der Reaktor selbst entspricht in seinem grundsätzlichen Aufbau dem Druckwasserreaktor. Er ist thermisch, heterogen, beschickt mit 90 % angereichertem Uran als Brennstoff, jedoch ist das Wasser durch eine organische Flüssigkeit aus der Gruppe der *Polyphenyle ersetzt. Dadurch werden einige dem mit Wasser betriebenen Reaktor prinzipiell anhaftende Schwierigkeiten beseitigt:

1. Kühlmittelaustrittstemperatur kann erhöht werden, da Polyphenyle geringeren Dampfdruck und höhere kritische Temperaturen bei niedrigeren kritischen Drukken (z. B. *Diphenyl $T_k = 495{,}6$ °C, $P_k = 32{,}9$ at) haben,
2. geringe Korrosion der Reaktorbaumaterialien,
3. geringe chemische Aktivität gegenüber Uran,
4. verhältnismäßig geringe Aktivierung durch Neutronenbestrahlung,
5. keine Knallgasbildung.

Nachteilig sind die niedrigen Wärmeübergangszahlen und die starke Strahlungszersetzung der Kohlenwasserstoffe bei höheren Temperaturen. Dabei bilden sich schwersiedende Polymere unter Freisetzung von Wasserstoff und geringen Mengen leichter Kohlenwasserstoffgase (s. Moderatoren, organische). Abb. 1 zeigt den Reaktor im Schnitt. Ein Druckgefäß aus niedrig-

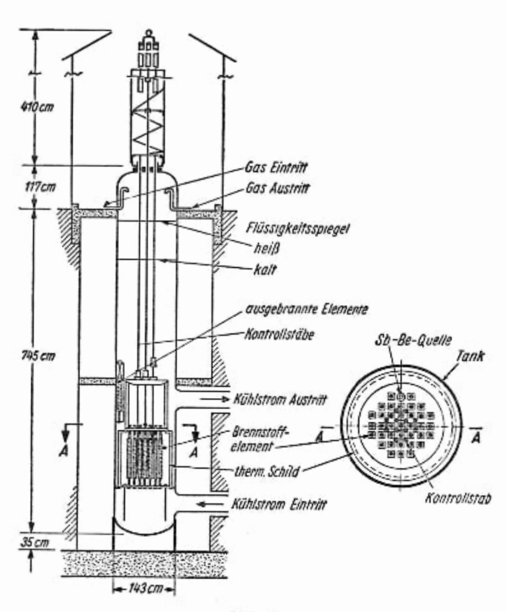


Abb. 1

OMRE gekohltem Stahl (innerer Durchmesser 1,43 m, Höhe 8,6 m, Wandstärke 2,5 cm für einen Betriebsdruck von 21 at) enthält in seinem unteren Teil den Reaktorkern. Dieser besteht normalerweise aus 25 Brennstoffelementen (maximal 36 möglich) in quadratischer Gitteranordnung mit insgesamt 20,6 kg U-235. Die Elemente werden an ihrem oberen und unteren Ende von je einer Stahlplatte gehalten. Die untere wirkt gleichzeitig als Kühlstromverteiler. Ein *Brennstoffelement ist in Abb. 2 zu sehen, es ist vom MTR-Typ und be-

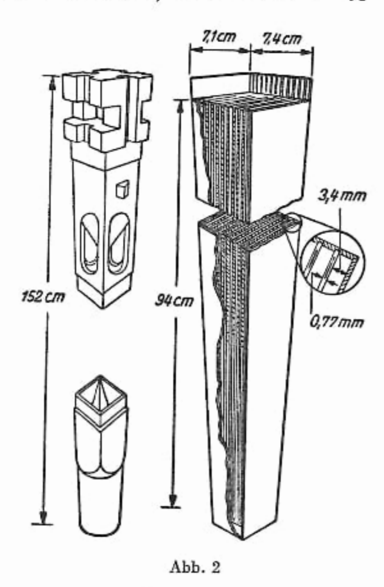


Abb. 2

steht aus einem Stahlblechbehälter mit 16 Brennstoffplatten (7,1 × 7,4 × 94 cm). Am Plattenbehälter ist unten ein Einlaufstutzen, oben ein Endstück (zur Halterung) mit seitlichem Kühlstromauslaß angebracht (Gesamtlänge eines Elements damit 1,52 m). Die kühlende organische Flüssigkeit strömt aus dem Wärmetauscher zurück in den unteren Sammler des Reaktors, von dort durch die Brennstoffelemente, aus deren oberen Auslaßöffnungen heraus, wirkt dann einige Zeit in

der Umgebung der Elemente als Moderator weiter, kühlt dabei gleichzeitig den thermischen Schild (Stahlzylinder), steigt schließlich zwischen thermischem Schild und Kesselwand in den oberen Sammler, der gleichzeitig auch als Reflektor wirkt, und wird von dort aus wieder zum Wärmetauscher gepumpt, der Kreislauf beginnt von neuem. Bei Diphenyl ist die Kühlmitteleinlaßtemperatur 260 bis 370 °C, die Auslaßtemperatur 265 bis 375 °C, s. Fließschema Abb. 3. Die Brennstoffplatten sind vom Sandwichtyp; sie bestehen aus UO_2-Platten (0,51 mm stark), stahlplattiert (0,13 mm je Seite), Spaltbreite zwischen den Platten 3,4 mm. Der Reaktor wird mit zwölf Stäben, Stahlrohren von 3,2 cm Durchmesser, 94 cm hoch angefüllt, mit gepreßtem Borkarbidpulver gesteuert. Deren Antrieb erfolgt über Zahnstange und Ritzel paarweise. Sicherheitsabschaltung geschieht mit denselben Stäben, sie werden dabei durch eine Klinke von der elektrischen Antriebsvorrichtung gelöst und fallen in den Reaktor, wobei ihre Abwärtsbewegung noch von einer Beschleunigungsfeder forciert wird. Die Brennstoffelemente werden zur Untersuchung und Reinigung ihrer Oberflächen von Teerablagerungen aus dem Reaktor herausgenommen, ausgebrannte Elemente werden in einem Gestell innerhalb des Druckkessels längs der Gefäßwand oberhalb des Reaktorkerns aufbewahrt. Das Fließschema Abb. 3 vermittelt einen Überblick

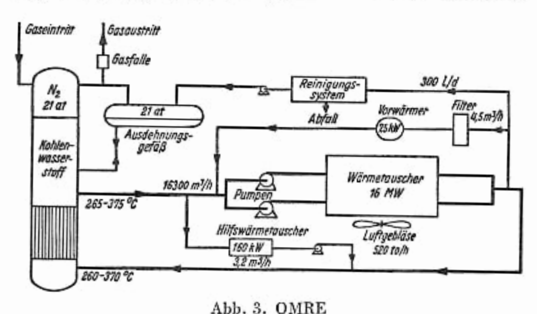


Abb. 3. OMRE

über den Kreislauf. Der Wärmetauscher ist luftgekühlt. Am Kreislauf sind zwei kontinuierlich arbeitende

Reinigungsanlagen angeschlossen, eine zur mechanischen Reinigung, die andere zur Abtrennung der sich bildenden schwersiedenden Polymere (Destillationsanlage). Dabei werden nicht alle Teerprodukte beseitigt, sondern nur der Überschuß über eine bestimmte zugelassene Konzentration (30 %). Über dem Flüssigkeitsspiegel wird eine Stickstoffatmosphäre aufrechterhalten. Einerseits wird damit der Betriebsdruck erzeugt, andererseits werden so die entstehenden Wasserstoff- und Kohlenwasserstoffgase verdünnt und abgezogen. Der Reaktorkessel ist in einer betonierten Grube untergebracht, als Schilde wirken Beton und Erde. [25]
Lit.: C. A. Trilling, OMRE-Organic Moderated Reactor Experiment, Atomics International, Canoga Park, Cal., Nov. 1956. – Experimental Power and Test Reactors, TID-4562, Nov. 1956.

Operateur, Syn. f. Reaktorfahrer.

Operator ist ein mathematischer Begriff. Die Mathematik führt zur Darstellung ihrer Aussagen Symbole ein. Größen sowie Rechenvorschriften zwischen diesen Größen werden durch Buchstaben oder Zeichen dargestellt. So ist das $+$- oder das $\times$-Zeichen Symbol für eine bestimmte Rechenvorschrift; eine „Operation". Diejenigen Buchstaben, Buchstabengruppen oder Zeichen, die einer bestimmten Größe andere Größen zuordnen, bezeichnet man als O.n. So sind z. B. in $\sin x$, $\log x$, $f(x)$, $\mathrm{d}f(x)/\mathrm{d}x$ die Ausdrücke sin, log, $f(\;)$, $\mathrm{d}/\mathrm{d}x$ O.n. Eine besondere Klasse sind die Differentialoperatoren. Das sind solche O.n, die Differentiationsvorschriften enthalten. Vielfach sind die Ableitungen in bestimmter Weise zusammengefaßt, wie in dem O.

$$\operatorname{grad} = \left\{ \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right\},$$

der einen Vektor darstellt und auf eine Skalarfunktion $f(x, y, z)$ wirkt (Gradient), oder in dem O. div, der denselben Vektor darstellt, der aber auf einen Feldvektor $\mathfrak{a} = \mathfrak{a}(x, y, z)$ wirkt, mit dem er skalar zu multiplizieren ist (Divergenz):

$$\operatorname{div} \mathfrak{a} = \frac{\partial}{\partial x} \cdot a_x + \frac{\partial}{\partial y} \cdot a_y + \frac{\partial}{\partial z} \cdot a_z .$$

Ähnlich wirkt auch der Laplacesche O. Δ (*Delta-

Operator), der in dreidimensionalen cartesischen Koordinaten so lautet:

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}.$$

Angewendet auf eine skalare Funktion $f(x, y, z)$ ergibt dies

$$\Delta f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial z^2}.$$

Neben den Differentialoperatoren gibt es auch Integraloperatoren, z. B. ist $H \cdot \varphi(x, y, z)$ eine Integraloperation (H ein Integraloperator), wenn es eine Funktion $h(x, y\, z; x', y', z')$ gibt, mit deren Hilfe man bildet

$$\int\int\int h(x, y, z; x', y', z') \cdot \varphi(x', y', z') \mathrm{d}x' \, \mathrm{d}y' \, \mathrm{d}z' = \\ = \psi(x, y, z).$$

Abgekürzt schreibt man dafür

$$H\, \varphi(x, y, z) = \psi(x, y, z).$$

h heißt Integralkern. Beispiele aus der Reaktortheorie sind die *Bremskerne.

Alle diese O.n sind lineare O.n, d. h. solche, für die gilt (O Operator):

$$O \cdot \{ a\, \varphi(x, y, z) + b\, \psi(x, y, z) \} = \\ = a \cdot O \cdot \varphi(x, y, z) + b \cdot O \cdot \psi(x, y, z)$$

für beliebige Konstanten a und b und alle Funktionen φ und ψ. Die heutige Physik beschränkt sich im allgemeinen auf die Verwendung linearer O.n. Die Mathematik nicht-linearer O.n ist kaum entwickelt. In der Physik der Elementarteilchen, in der allgemeinen Feldphysik und in der *Reaktordynamik ist jedoch ein dringendes Bedürfnis zur Einführung nicht-linearer O.n vorhanden.

Die Schreibweise $O \cdot \varphi$ deutet an, daß man den O. oftmals von der Funktion, auf die er wirkt, löst und mit den O.n allein rechnet (Operatorenrechnung). Es wird sich dabei immer um eine bestimmte Sorte von O.n handeln, z. B. Differentialoperatoren. Die Operatorenrechnung hat in der Relativitätstheorie und vor allem in der Quantenmechanik eine besondere Bedeutung bekommen. In der Quantenmechanik kommt man von den klassischen Hamiltonschen Bewegungsglei-

chungen zu jenen in der Quantenmechanik gültigen dadurch, daß man die klassischen Größen nach bestimmten Vorschriften durch O.n ersetzt (wellenmechanische Umdeutung klassischer Größen), z. B. für den Impuls p den Impulsoperator $(\hbar/i)\cdot\text{grad}$ einführt. Man kommt so von der Hamilton-Funktion der klassischen Physik zum Hamilton-Operator der Quantenmechanik. Weitere Beispiele sind die *Matrixdarstellung der *Reaktorgleichung und die in der *Transporttheorie üblichen O. [7]

engl.: operator *franz.: opérateur*

Lit.: s. Operatorgleichung.

Operatorgleichung ist eine Gleichung, in der Operatoren enthalten sind. So ist z. B. die Beziehung

$$O\,\varphi(x, y, z) = \psi(x, y, z)$$

eine O. Eine spezielle Form dieser O.n stellen die *Eigenwertprobleme dar. Hier wird gefordert, daß die Wirkung des Operators auf eine Funktion derart sei, daß bis auf eine Konstante die Funktion selbst resultiert, daß also gilt

$$O\,\varphi(x, y, z) = E\,\varphi(x, y, z)\,.$$

Gefragt ist nach den Funktionen, für die dieses gilt, den „Eigenfunktionen", und dem Wert der Konstanten E, dem „Eigenwert" des Operators. Typische Beispiele sind die (zeitabhängigen und zeitunabhängigen) Reaktorgleichungen, formuliert für eine oder mehrere Neutronengruppen, mit oder ohne Berücksichtigung der verzögerten Neutronen. [7]

engl.: operator equation

franz.: équation opérationelle

Lit.: K. W. Wagner, Operatorenrechnung, Laplace-Transformation, Barth, Leipzig, 1950. – R. Courant u. D. Hilbert, Methoden der mathematischen Physik, 2 Bände, Springer, Berlin, 1931 und 1937. – E. Madelung, Die math. Hilfsmittel des Physikers, Springer, Berlin, 1950. – H. Grümm u. K. H. Höcker, Reaktorkinetik und Störungsrechnung, Erg. ex. Nat. 30, Springer, Berlin, 1958.

OPPA, amerikanische Abk. für das Extraktionsmittel octyl-pyrophosphorige Säure (acid). Es wird zur Extraktion von Uran aus in Salpetersäure aufgelösten Erzen nach Verdünnung mit Kerosinfraktionen benutzt. [22]

Optimalisierung, s. Reaktoroptimalisierung.

Ordnungszahl (auch Atomnummer). Ordnet man die chemischen Elemente empirisch nach steigender

Frequenz irgendeiner bestimmten Linie ihrer charakteristischen Röntgenstrahlung, etwa der K_α-Linie, an (diese Reihenfolge ist mit großer Näherung, aber nicht ganz exakt, auch die Reihenfolge steigenden Atomgewichts) und numeriert sie fortlaufend durch, bei Wasserstoff mit 1 angefangen, so ist die Nummer, welche jedes Element hierbei erhält, seine O.
Die O. bedeutet physikalisch die Anzahl der positiven Elementarladungen, mit welchen der Atomkern (s. Kern) des betreffenden Elementes geladen ist (Kernladungszahl), bei den neutralen Atomen des Elementes weiterhin auch die Zahl der Hüllenelektronen im Atom (Elektronenzahl). Sie geht bei den in der Natur vorkommenden Elementen bis 92 (Uran). Künstliche Elemente konnten bis zur O. 102 (Nobelium) durch Kernumwandlung hergestellt werden.
Die Anordnung der Elemente nach steigender O. bildet die Grundlage des periodischen Systems der Elemente. [1]
engl.: atomic number
franz.: nombre atomique, numéro atomique
Lit.: W. Finkelnburg, Atomphysik, 5./6. Aufl., Springer, Berlin, 1958. – W. Riezler, Kernphysik, 6. Aufl., Oldenbourg, München, 1958.

Ordnungszahl, effektive, läßt sich aus der Zusammensetzung und den Ordnungszahlen eines Gemisches oder einer Verbindung berechnen. Ein Element mit dieser Ordnungszahl würde Photonen in der gleichen Weise absorbieren wie das Gemisch oder die Verbindung. In der Literatur sind verschiedene Formeln angegeben, nach denen die e. O. berechnet werden kann, von denen die beiden bekanntesten im folgenden angegeben sind.
1. Fricke und Glasser (1925) stellten unter Berücksichtigung des Photoeffektes folgende Formel auf:

$$Z_{\text{eff}} = \sqrt[3]{\frac{a_1 Z_1^4 + a_2 Z_2^4 + \dots}{a_1 Z_1 + a_2 Z_2 + \dots}},$$

Z_1, Z_2 Ordnungszahlen der Elemente, a_1, a_2 Gewichtsanteile der Elemente am Gesamtgewicht.
2. Spier (1946) berücksichtigte Absorption und Streuung:

$$Z_{\text{eff}} = (b_1 Z_1^{2,94} + b_2 Z_2^{2,94} + \dots)^{1/2,94},$$

 b_1, b_2 relative Elektronenanteile der Elemente.
Die Kenntnis der e. O. ist bei der Herstellung von *luftäquivalenten Materialien wichtig. [17]
engl.: effective atomic number
franz.: nombre atomique effectif
Lit.: Fricke u. Glasser, Fortschritte Röntgenstr. 33, 243 (1925). – Spier, Brit. J. Radiol. 19, 52 (1946).

Organ, kritisches. Als k. O. für ein bestimmtes radioaktives Isotop wird dasjenige Körperorgan bezeichnet, von dem anzunehmen ist, daß seine mit der Inkorporierung dieses radioaktiven Isotops verbundene Strahlenbelastung für die Gesundheit des Individuums am nachteiligsten ist, weil dieses Organ lebenswichtig ist, das entsprechende Element besonders konzentriert und es nur langsam – mit großer *biologischer Halbwertszeit – ausscheidet.
K. O.e in diesem Sinne sind u. a. Blutbildungsstätten (Knochenmark, Milz), Augen, für manche Isotope auch der gesamte Körper. Bei Einatmung radioaktiver Isotope stellt die Lunge das k. O. dar. In anderen Fällen kann es das Knochengewebe (z. B. für Ra und ^{90}Sr), das Muskelgewebe (^{137}Cs), die Leber (^{60}Co), die Niere (^{106}Ru), die Schilddrüse (^{131}J) sein. [17,28]
engl.: critical organ
franz.: organe critique

Organdosis, s. Dosis.
engl.: organ dose *franz.: dose d'organe*

Organisation, Europäische, für kernphysikalische Forschung, offiziell *Conseil Européen pour la Récherche Nucléaire* (CERN); im September 1954 gegründete Organisation zur gemeinsamen Durchführung kernphysikalischer Forschungen, die wegen des notwendigen materiellen Aufwandes von einzelnen Mitgliedsländern allein nicht betrieben werden können. CERN-Einrichtungen sind im Bau bei Meyrin in der Nähe von Genf, Schweiz. Der bis 1960 laufende erste Plan sieht vor: Errichtung eines 600-MeV-*Synchrozyklotrons (in Betrieb seit Sommer 1957), eines 25-Gev-*Protonen-Synchrotrons mit zugehörigen Instituten usw. Wissenschaftlicher Mitarbeiterstab: endgültig insgesamt 500 aus allen Mitgliedsländern. Leiter: z. Z. Prof. C. J. Bakker, Holland. 12 Mitgliedsländer: Bun-

desrepublik Deutschland, Belgien, Dänemark, Frankreich, Griechenland, Großbritannien, Holland, Italien, Jugoslawien, Norwegen, Schweden, Schweiz. [24]

Organische Flüssigkeiten. Als Reaktorkühlmittel und Moderator werden bestimmte besonders strahlungsstabile organische Stoffe in Erwägung gezogen. Die in Frage kommenden Flüssigkeiten sind in ihrer Struktur aromatische Verbindungen der Polyphenylreihe, z. B. *Diphenyl, *Terphenyl usw. Ihr Siedepunkt liegt so hoch, daß bei 400 °C nur ein Systemdruck von ca. 3 atü erforderlich ist. Sie werden weniger radioaktiv und verursachen geringere Korrosion als Wasser. Da die Moleküle aus Wasser- und Kohlenstoff bestehen, sind diese Stoffe gute Moderatoren. Nachteilig sind die relativ schlechten Wärmeübertragungseigenschaften. Das noch zu lösende Problem liegt in der Zersetzung und Polymerisation der Stoffe durch die Strahlungseinwirkung. S. a. Moderator, organischer. [18]

engl.: organic liquides (moderators)

franz.: liquides organiques

Lit.: G. A. Freund, „Organic Coolant-Moderators for Power Reactors". Nucleonics, Aug. 1956, S. 62.

Orientierung, die Richtung der Hauptachsen eines Kristalls gegenüber einer vorgegebenen Richtung. [4]

engl.: orientation *franz.: orientation*

ORINS, Abk. für Oak Ridge Institute of Nuclear Studies, s. Oak Ridge.

Orion, s. DCX (Nachtrag).

ORNL, Abk. für Oak Ridge National Laboratory, s. Oak Ridge.

Orthodiagraph, Vorrichtung zur röntgenologischen Aufzeichnung der wahren Organgrößen. Bei der Orthodiagraphie sind die Verhältnisse der Parallelprojektion weitgehend hergestellt. Es ist ein mit der Röhre festgekoppelter Schreibstift vorhanden, der entweder auf dem Durchleuchtungsschirm selbst oder aber auf einer entsprechend angeordneten, zum Zentralstrahl senkrechten Schreibfläche die gesuchte Objektkontur als Punktreihe aufzeichnet. [28]

engl.: orthodiagraph *franz.: orthodiagraphe*

orthogonal. Zwei Vektoren $\mathfrak{a}$ und $\mathfrak{b}$ sind orthogonal

zueinander, wenn ihr inneres Produkt verschwindet:

$$\mathfrak{a} \cdot \mathfrak{b} = |\mathfrak{a}| \cdot |\mathfrak{b}| \cdot \cos(\mathfrak{a}, \mathfrak{b}) = \sum_{i=1}^{f} a_i b_i = 0 . \qquad (1)$$

Im übertragenen Sinne sagt man auch, daß zwei Funktionen $\psi_n(x)$ und $\psi_m(x)$ o. zueinander seien, wenn

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi_n(x) \cdot \psi_m(x) \, dx = 0 \qquad (2)$$

ist.

Die Gleichung gilt stets für solche Eigenfunktionen, die Lösungen eines *Eigenwertproblems sind. Die Übertragung ist so zu verstehen, daß an Stelle des diskreten Index i, der die verschiedenen Komponenten des Vektors $\mathfrak{a}$ unterscheidet, ein kontinuierlicher „Index" x tritt. Die Größe $\psi_n(x)$ ist eine kontinuierliche (stetige) Funktion. An die Stelle der Summe über die diskreten Werte $a_i b_i$ tritt das Integral über die stetige Funktion $\psi_n(x) \cdot \psi_m(x)$. An die Stelle des verallgemeinerten geometrischen Raumes mit seinen f Dimensionen (für den gewöhnlichen geometrischen Raum ist $f = 3$) tritt der abstrakte Hilbert-Raum mit unendlich vielen Dimensionen, nämlich so viel Dimensionen, wie dem Wertevorrat von x entspricht. [7]

engl.: orthogonal *franz.: orthogonal*

Ortsdosis, s. Dosis.

engl.: local dose *franz.: dose locale*

Oxalsäure ($C_2O_4H_2$) dient als *Entseuchungsmittel, s. a. Kieselgurfilter. [22]

engl.: oxalic acid *franz.: acide oxalique*

Oxydation, Abgabe von Elektronen aus einem Atom führen in eine höhere Wertigkeit. Zum Beispiel $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} + e^-$. Früher nur als eine Aufnahme von Sauerstoff verstanden. [18]

engl.: oxidation *franz.: oxydation*

Oxyd-Ausschlackung ist eine Hochtemperatur-Entgiftungsmethode zur Trennung von Uran und Spaltprodukten. Durch eine vorsichtig durchgeführte partielle Oxydation der Schmelze wird ein beträchtlicher Teil der chemisch reaktionsfreudigen Spaltprodukte oxydiert und sammelt sich als unlösliche Oxydschlacke auf der metallischen, flüssigen Uranschmelze an. Durch

diese O.-A. gelingt z. B. eine Reinigung des Urans von sämtlichen seltenen Erden, einschließlich Yttrium. [22]
engl.: oxide slagging
franz.: élimination sous forme d'oxydes (oxydation ménagée)
Lit.: s. Karbid-Ausschlackung.

P

Paarbildung oder **Paarerzeugung.** Photonen, deren Energie kleiner oder von der gleichen Größenordnung ist wie die doppelte Ruhenergie des Elektrons

$$E_0 = m\,c^2 = 0{,}511\ \text{MeV}\,,$$

verlieren ihre Energie beim Durchgang durch Materie durch den *Compton-Effekt und den atomaren Photo-Effekt. Photonen, deren Energie groß gegen $m\,c^2$ ist, verlieren ihre Energie überwiegend durch den für diese Energien charakteristischen Prozeß der P. Dieser kann im Rahmen der Diracschen Theorie des Positrons als der inverse Prozeß zur *Bremsstrahlung der Elektronen betrachtet werden. Bei Aussendung von Bremsstrahlung geht ein Elektron aus einem Zustand höherer Energie in einen solchen niedrigerer Energie über. Die Umkehrung ist, daß ein Photon von einem Elektron absorbiert wird, das dabei in einen Zustand höherer Energie übergeht. Paarbildung tritt nun ein, wenn dieses Elektron ein solches aus dem „See" der Elektronen mit negativer Energie ist, die keine physikalische Wirkung ausüben. Die zugeführte Photonenenergie hebt dies Elektron auf eine positive Energie an, wodurch das Elektron beobachtbar wird. Aber auch das zurückbleibende „Loch" in der Verteilung der Elektronen negativer Energie tritt als Positron in Erscheinung. Bei Bremsstrahlung und P. muß ein Atomkern mitwirken, um den aus den Erhaltungssätzen folgenden Impulsüberschuß aufzuheben. Die Berechnung dieses Vorgangs ist auf Grund der Diracschen Theorie des Elektrons möglich. Der Wirkungsquerschnitt für die Erzeugung eines Elektronenpaares, dessen eines Elektron zwischen E und $E + \mathrm{d}E$ hat, durch

ein Photon der Primärenergie k, ist für $k \gg m\,c^2$ nach Bethe und Heitler

$$\mathrm{d}Q = 4\,Z^2 \cdot \frac{e^2}{\hbar\,c} \cdot \left(\frac{e^2}{m\,c^2}\right)^2 \cdot \frac{\mathrm{d}E}{k} \cdot$$

$$\cdot \left[\left(\frac{E}{k}\right)^2 + \left(1 - \frac{E}{k}\right)^2 + \frac{2}{3}\,\frac{E}{k}\left(1 - \frac{E}{k}\right)\right] \log \frac{183}{Z^{1/3}}$$

(Z Kernladung, e Elementarladung, $\hbar$ Plancksches Wirkungsquantum/$2\,\pi$). Integriert man die Formel über E und multipliziert mit der Anzahl N der streuenden Atomkerne im cm^3, so erhält man die Wahrscheinlichkeit dafür, daß auf der Strecke $\mathrm{d}x$ überhaupt ein Paar von dem Photon erzeugt wird. Es gilt näherungsweise

$$\mathrm{d}n = \frac{7}{9} \cdot \frac{\mathrm{d}x}{x_0}\,.$$

x_0 ist die sog. Strahlungseinheit, die definiert ist durch

$$\frac{1}{x_0} = 4\,N\,Z^2 \cdot \frac{e^2}{\hbar\,c} \cdot \left(\frac{e^2}{m\,c^2}\right)^2 \cdot \log \frac{183}{Z^{1/3}}\,.$$

Sie hängt von der Kernladung und der Dichte der Materie ab. [7]

engl.: pair production

franz.: création de paires (d'électrons)
émission d'une paire

Paarspektrometer, Spektrometer für harte Gammastrahlung, das auf der Ausnutzung des Paarbildungseffektes beruht. Durch die einfallende Strahlung werden in einer Konverterfolie Elektronenpaare ausgelöst, deren Energie in einem Magnetfeld analysiert wird. Auch durch Koinzidenzschaltung zweier Szintillationszähler (zur Registrierung der Vernichtungsstrahlung) mit einem Szintillationsspektrometer kann ein P. aufgebaut werden. P. eignen sich für Gammastrahlung oberhalb 2–3 MeV. Ihre Empfindlichkeit steigt mit wachsender Quantenenergie. [11]

engl.: pair spectrometer

franz.: spectromètre aux paires (d'électrons)

Paarvernichtung. Denkt man sich bei dem Prozeß der Paarerzeugung die Zeitrichtung umgekehrt, dann erhält man den Prozeß der P. Er besteht darin, daß ein

Elektron und ein Positron „zerstrahlen", d. h. unter Emission eines Photons verschwinden. Die Häufigkeit des Prozesses ist an die Häufigkeit der Positronen gebunden. Entstehen diese infolge irgendwelcher Kernreaktionen oder bei Paarerzeugung, so tritt dieser Prozeß spontan ein, solange man sie nicht in ein absolutes Vakuum setzt. Die scheinbare Lebensdauer eines Positrons ist daher sehr kurz. Sie hängt von der Dichte der Elektronen ab. Trotzdem also das Positron ein stabiles Elementarteilchen ist, hat es – äußerlich betrachtet – die Eigenschaften eines instabilen Gebildes.
Der Prozeß ist theoretisch am einfachsten mit Hilfe der Diracschen Theorie des Elektrons, insbesondere der sog. Löchertheorie zu beschreiben. [7]
engl.: pair annihilation
franz.: annihiliation de paires

Pachuca, amerikanische Bezeichnung für einen Behälter, in dem Metalle mit Säuren behandelt werden. [22]

Packungsanteil, eine Größe, die – ähnlich wie der *Massendefekt – die durch die *Bindungsenergie der Kerne verursachte Massenabnahme zum Ausdruck bringt.
Der P. ist definiert als relative Abweichung der effektiven Kernmasse von der ganzzahligen Massenzahl. Da z. B. die Kernmasse des Phosphorisotops $^{31}_{15}P$ 30,9844 ist, ergibt sich sein P. zu

$$\frac{M - A}{A} = \frac{30{,}9844 - 31}{31} = -\,0{,}00050\,.$$

Der P. ist für die meisten Kerne negativ, nur für die leichtesten und schwersten ist er positiv. Dieser Verlauf rührt natürlich daher, daß gerade für den Sauerstoffkern $^{16}_{8}O$, der mit 16,0000 als Bezugsmasse dient, der P. definitionsgemäß gleich Null gesetzt wird. – Mitunter wird der Begriff des P. synonym zu Massendefekt gebraucht. [1]
engl.: packing fraction
franz.: fraction de tassement

Lit.: S. Flügge u. J. Mattauch, Kernphysikalische Tabellen, Springer, Berlin, 1942. – Mattauch u. Flammersfeld, Isotopenbericht 1949, Z. f. Naturforschung, Tübingen, 1949.

Packungseffekt, die Tatsache, daß durch die Zusammenpackung von Nukleonen zu einem zusammengesetzten Kern infolge der hierbei auftretenden *Bindungsenergie gemäß der Äquivalenz zwischen Masse und Energie eine Massenverminderung auftritt. Der P. wird quantitativ gemessen durch den *Massendefekt oder durch den *Packungsanteil. [1]
engl.: packing effect *franz.: effet de tassement*

Paketwalzen. Gleichzeitiges Walzen mehrerer aufeinandergelegter Bleche oder Platinen aus gleichen oder verschiedenen Werkstoffen. [4]
engl.: pack rolling
franz.: laminage en paquets

PAM, s. Nachtrag.

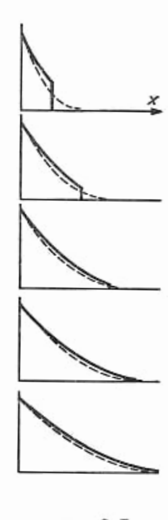
Panoramaaufnahme (auch Karussellaufnahme), *radiographische Expositionsanordnung, bei dem die Prüflinge samt photographischem Aufnahmematerial kreisförmig um die im Zentrum befindliche, möglichst fernbediente Gammastrahlungsquelle gruppiert sind. [16]
engl.: panoramic exposure
franz.: exposition panoramique

P_1-Approximation, s. Kugelfunktionsmethode.
engl.: P_1-approximation
franz.: approximation en P_1

P_1-Approximation, zeitabhängige. Geht man in der zeitabhängigen *Boltzmann-Gleichung mit Hilfe der *Kugelfunktionsmethode zur P_1-A. über, so ergeben sich für die Momente des Flusses Φ_0 und Φ_1 zwei gekoppelte Differentialgleichungen, welche die zweite Zeitableitung enthalten und der sog. „Telegraphengleichung" analog sind:

$$\frac{\partial^2 \Phi_0}{\partial t^2} - \frac{v^2}{3} \frac{\partial^2 \Phi_0}{\partial x^2} + a_1 \frac{\partial \Phi_0}{\partial t} + a_2 \Phi_0 + Q_0 = 0$$

und ganz ähnlich für Φ_1. Die Lösungen dieser Gleichung zeigen Retardierungs-Erscheinungen: der Fluß an einem bestimmten Ort zu einer bestimmten Zeit hängt ab vom Fluß am Ort der Quelle vor einer gewissen Zeitspanne. Es bilden sich bei stoßartig einsetzenden Quellen im Medium Neutronenfronten aus, die mit der Geschwindigkeit $v/\sqrt{3}$ von der Quelle weg-



laufen und ein Störungsgebiet hinter sich herziehen. In der Front fliegen jene Neutronen, die noch keinen Stoß erlitten haben. Ihre Zahl wird durch Absorption und Streuung exponentiell verringert. Die gestreuten Neutronen müssen Umwege machen und sind daher im Störungsrest hinter der Front zu finden. Die Abb. zeigt die Neutronenverteilung im Halbraum, die sich ausbildet, wenn an die linke Fläche momentan eine Neutronenquelle angelegt wird. Die Neutronen-Front und ihr Abklingen sind deutlich zu erkennen. Die gestrichelt eingetragene Kurve zeigt die auf Grund der *zeitabhängigen Diffusionsgleichung

$$\frac{1}{v} \frac{\partial \Phi_0}{\partial t} = \operatorname{div}(D \operatorname{grad} \Phi_0) - \Sigma_a \Phi_0 + Q$$

berechnete Verteilung. Man erkennt, daß die Diffusionstheorie in der „Nahzone" versagt, während sie in der „Fernzone" – einige Transportweglängen von der Quelle entfernt – eine gute Näherung an die z. P_1-A. liefert. Die letztere geht in die Diffusionsgleichung über, wenn die Diffusionszeit $t_D = x^2/2\,D\,v$ groß ist gegenüber der Retardierungszeit $t_R = x/v$. [13]
engl.: time dependent P_1-approximation
franz.: approximation en P_1 faisant intervenir le temps
Lit.: H. Grümm, Kinetische Ausgleichsvorgänge im Kernreaktor, Z. angew. Physik 9, 351 (1957).

Parabelmethode. Wendet man auf einen Ionenstrahl von Ionen einheitlicher Masse, aber uneinheitlicher Geschwindigkeit gleichzeitig die elektrische und magnetische Ablenkung durch parallele Felder an, so daß die beiden Ablenkungen senkrecht zueinander stehen, so bilden die Auftreffpunkte der je nach Geschwindigkeit verschieden stark abgelenkten Teilchen des Ionenstrahls auf einer senkrecht zur Strahlrichtung gestellten photographischen Platte eine Parabel, da die

magnetische Ablenkung linear, die elektrische aber quadratisch mit der reziproken Geschwindigkeit geht. Besteht der Ionenstrahl aus einem Gemisch von Ionen verschiedener Masse, so liefert jede Ionenart eine besondere Parabel, und man kann an den einzelnen Parabeln erkennen, wieviel verschiedene Ionenarten in dem Strahl enthalten waren und welche Masse sie haben. Mittels der P. fand J. J. Thomson 1913 erstmals die Isotope 20 und 22 des Neons. Sie kann als Vorläufer des *Massenspektrographen gelten. [1]
franz.: méthode de la parabole

Parabelpotential, s. Nachtrag.

Paraffin, Mischung aus gesättigten höheren Kohlenwasserstoffen. P. ist ein gutes, wenn auch technisch ungebräuchliches Bremsmittel für Neutronen. [26]
engl.: paraffine
franz.: paraffine

Parallelmanipulator, s. Manipulator.

Pätow-Effekt ist neben dem *Malter-Effekt eine Ursache für Nachentladungen in edelgasgefüllten Zählrohren. Er beruht darauf, daß durch angeregte metastabile Atome an der Kathode oder auch an Molekülen geeigneter Zusatzgase Sekundärelektronen ausgelöst werden können. Da die Lebensdauer angeregter metastabiler Atomzustände recht lang sein kann, ehe durch Strahlung oder Stöße zweiter Art die Rückkehr in den Grundzustand eintritt, kann der Abstand der Nachentladung vom Primärimpuls mehrere Sekunden betragen. Aus diesem Grunde vermeidet man in Zählrohren die Benutzung reiner Edelgase und mischt Zusatzgase hinzu, die durch Stöße zweiter Art angeregte Atome schnell beseitigen. [6]
engl.: Paetow's effect
franz.: effet Paetow

PCU = pound centigrade unit = *CHU = centigrade heat unit.

Pechblende. Wichtigstes Uranmineral, dessen Zusammensetzung zwischen U_3O_8 und U_2O_5 schwankt. Die größten augenblicklich bekannten P.-Lager finden sich im Belgisch-Kongo, in Kanada und im Ural. [3]
engl.: pitchblende
franz.: pechblende

Péclet-Zahl (Pe). In den semiempirischen Gleichungen für den konvektiven Wärmeübergang wird teilweise die P.-Z. Pe = $w\,l/a$ verwendet, dabei ist w die Geschwindigkeit, l eine kennzeichnende Länge und a die *Temperaturleitfähigkeit (s. erzwungene Konvektion). [5]
engl.: Péclet-No. *franz.: nombre de Péclet*

Pegmatit. Tiefengestein, das durch Eruption in die uns bekannten Teile der Lithosphäre emporgehoben wurde und dabei nur die Spalten der älteren Gesteine ausfüllt. P.-Gänge enthalten eine große Zahl wertvoller Mineralien. (U-, Th-, W-, Mo-Erze etc.) [3]
engl.: pegmatite *franz.: pegmatite*

Peking, Standort eines Schwerwasserreaktors von 10 MW Leistung für Forschungszwecke, Tanktyp, russische Lieferung, kritisch am 13. 6. 1958. [7]

Pendelschlagprobe, s. Charpysche Pendelschlagprobe.

Pentaäther, Abk. für das Extraktionsmittel Dibutyläther des Tetraäthylenglycols. Es wird ohne oder nach Verdünnung mit Butyläther zur Trennung von Uran und Plutonium von den Spaltprodukten aus einer wäßrigen Lösung benutzt. Als Salzzuschlag hat sich HNO_3 bewährt. [22]
engl.: penta ether *franz.: penta-éther*

Perhapsotron (vielleicht geht's, vielleicht nicht), amerikanisches Forschungsgerät (in Los Alamos) zum Studium von Vorgängen in Plasmen, die zum Ablauf thermonuklearer Reaktionen wesentlich sind. Die Entladungsröhre ist als Toroid ausgebildet. Der Torusdurchmesser beträgt 5,3 cm. Dieses Gerät weist eine starke Ähnlichkeit mit dem englischen *Zetagerät auf. Die Bauelemente sind im wesentlichen dieselben, nur daß diejenigen des P. kleinere Maße bei höherem Druck aufweisen. Bei einem Anfangsdruck von 30 Torr und einem Spitzenstrom von 200 kA, der von einer Kondensatorbatterie geliefert wird, wurde eine Temperatur bis etwa $5 \cdot 10^6$ °K erreicht.
Eine andere Version eines Forschungsgerätes zum Studium thermonuklearer Reaktionen ist Columbus II, ebenfalls in Los Alamos erstellt. Diese Anlage besteht aus einer Kondensatorbatterie von 25 Konden-

satoren (0,8 μF; 100 kV). Die Kondensatoren sind kreisförmig angeordnet. Im Zentrum des Kreises befindet sich eine g e r a d e Entladungsröhre (80 cm lang, 10 cm Durchmesser), über welche die Kondensatorbatterie entladen wird. Die Zuschaltung erfolgt mittels einer Funkenstrecke. Bei 60 kV angelegter Spannung ergibt sich ein Spitzenstrom von 1 Million Amp. bei einer Anstiegszeit von 2 μs. Variationen dieses Grundversuches sind: Vorionisierung des Gases mittels einer zweiten Kondensatorbatterie (20 μF; 20 kV); Anlegen axialer Magnetfelder bis zur Größe von 10 000 Gauß zum Zweck der Beseitigung von Instabilitäten der *Pinchentladung. S. a. Fusion, Plasma, Magnetohydrodynamik. [27]
Lit.: Nature 181, Nr. 4604 (1958).

Periode, s. Reaktorperiode.

Periodenbereich, derjenige Teilbereich beim *Startverlauf, in dem die Leistung einen großen Teil der gesamten Leistungssteigerung mit annähernd konstanter Periode durchläuft. Der P. umfaßt also im allgemeinen den Startabschnitt mit der eigentlichen Leistungssteigerung und den geringsten Reaktivitätsänderungen. Im P. kann der Neutronenfluß durch die permanent eingebauten Überwachungsgeräte wie Ionenkammern gemessen werden. Daraus resultiert die Kontrolle der Reaktorperiode. [9]
engl.: period range *franz.: régime de la période*

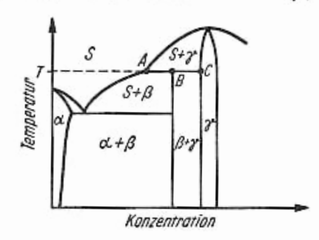
Periodenmesser, Instrument, von dem die Reaktorperiode T abgelesen werden kann (in Sekunden). Das Instrument mißt $d(\ln \Phi)/dt = 1/T$, wobei Φ der Neutronenfluß ist. [7]
engl.: period meter *franz.: périodemètre*

Periodenüberwachung, Verfahren bzw. Einrichtung zur laufenden Messung und Meldung der Reaktorperiode in allen Betriebszuständen des Reaktors. [9]
engl.: period control
franz.: surveillage de la période

Periodenverstärker, in der Reaktortechnik gebräuchliches Gerät, das aus dem Verlauf der Ströme der Ionisationskammern, Spaltkammern oder Zählrohre durch elektrische Differentiation ein Maß für die

Reaktorperiode ableitet und nach ausreichender Verstärkung einem Anzeige- oder Schreibgerät zuführt. [6]
engl.: period amplifier
franz.: amplificateur de période

Peritektikum. Eine bei konstanter Temperatur (T) stattfindende Reaktion, bei welcher eine Schmelze (S) und eine feste Phase (γ) nach der Gleichung $S + \gamma \rightleftarrows \beta$ in eine zweite feste Phase (β) übergeht.



Die Konzentration der β-Phase (Punkt B) liegt zwischen den Konzentrationen der an der Reaktion beteiligten Schmelze (Punkt A) und der festen γ-Phase (Punkt C). [4]
engl.: peritectic composition *franz.: péritectique*
Lit.: G. Masing, Lehrbuch d. allg. Metallkunde, Springer, Berlin, 1950. – E. Brandenberger, Allg. Metallkunde, Reinhardt, München, 1952.

Perlit. Das aus *Alpha-Eisen (Ferrit) und Zementit (Eisenkarbid Fe_3C) bestehende Gefüge einer Eisen-Kohlenstoff-Legierung, deren Zusammensetzung dem eutektoiden Punkt (0,8 % C) entspricht. Ein perlitisches Gefüge entsteht durch die eutektoide Umsetzung γ-Fe = α-Fe + Fe_3C beim Abkühlen von Gamma-Eisen unter die Umwandlungstemperatur (721 °C) oder beim Weichglühen von gehärtetem Stahl durch den Zerfall der metastabilen Martensitphase. Je nach Wärmebehandlung und Abkühlungsgeschwindigkeit ist das P.-Gefüge feinlamellar, streifig oder kugelig. [4]
engl.: perlite *franz.: perlite*

Permutitverfahren, s. Ionenaustausch.

Personendosis, s. Dosis.
engl.: personal dose *franz.: dose du personnel*

Personen-Überwachung. Bei der Früherkennung eines Strahlenschadens und seiner Diagnose mangelt

es an Indikatormethoden. Um so größer ist das Problem einer Kontrolle der Strahlenbelastung des Personals. Als praktisch geeignetes Verfahren bei der Personalkontrolle hat sich die sog. Individualdosimetrie erwiesen, bei der die Ermittlung der Strahlenbelastung aus den Schwärzungen eines geeigneten photographischen Filmes, der sich in einer Kassette mit mehreren nach Vorder- und Rückseite symmetrisch angeordneten Filtern befindet, stattfindet. Für kurzfristige Arbeiten oder zur Feststellung der Strahlenbelastung über kürzere Zeiträume sind Kondensatorkammern oder Taschendosimeter zu empfehlen. [28]
engl.: personnel monitoring
franz.: contrôle du personnel

PF, s. Pilefaktor.

pH, s. pH-Wert.

Phantom, svw. Nachbildung, häufig ein aus Kunststoff bestehender Festkörper oder ein mit Wasser gefüllter Kasten (Größe 30 × 30 × 40 cm), der anstelle des menschlichen Körpers zur Ermittlung der prozentualen Tiefendosen, des Streuzusatzes bei verschiedenen Feldgrößen etc. verwendet wird. [28]
engl.: phantom *franz.: fantôme*

Phase, intermediäre, s. Verbindungen, intermetallische.

Phasendiagramm, s. Zustandsbild.
engl.: phase diagramm
franz.: diagramme d'états, diagramme des phases

Phasenfrequenzgang charakterisiert die Abhängigkeit der Phasendrehung eines Übertragers von der Frequenz der zu übertragenden harmonischen Schwingung. Der P. stellt den Winkelwert des vollständigen komplexen Frequenzganges dar. Auf seine häufig sehr umständliche Messung kann wegen der grundsätzlichen Zusammenhänge zwischen beiden Frequenzgängen in vielen Fällen, z. B. auch beim Reaktor, verzichtet werden, wenn der Amplitudenfrequenzgang bereits bekannt ist. [9]
engl.: phase frequency plot

Phasenmodulation, s. Modulation.
engl.: phase modulation
franz.: modulation de phase

Phasenumwandlung. Die Umwandlung einer Phase in eine andere oder die Änderung der Gesamtzahl der miteinander im Gleichgewicht stehenden Phasen; z. B. das Schmelzen und Erstarren eines Metalles, die allotrope Umwandlung von *Alpha-Eisen in *Gamma-Eisen und umgekehrt, die *eutektische Umsetzung einer Schmelze in zwei oder mehrere Kristallarten usw. – Je nach der Zahl der durch die Gibbsche Phasenregel bestimmten Freiheitsgrade findet eine P. bei einer bestimmten Temperatur (Schmelzen und Sieden von Wasser) oder in einem Temperaturintervall (Sieden eines Alkohol-Wasser-Gemisches) statt. [4]
engl.: phase transformation
franz.: transformation des phases

Phasotron, russische Bezeichnung für Synchrozyklotron. Das größte Gerät dieser Art mit 6 m Polschuhdurchmesser steht im internationalen „Vereinigten Institut für Kernforschung" in Dubna an der Wolga. Es liefert Protonen mit einer Energie von 680 MeV. [11]
engl.: phasotron *franz.: phasotron*

Phenakit. Wichtiges Beryllium-Mineral von der Zusammensetzung $Be_2[SiO_4]$. [3]
engl.: phenacite *franz.: phénacite*

Phosphor 32, ein häufig in der Biologie, Medizin und Technik benutztes radioaktives Isotop, das durch Bestrahlung von natürlichem Phosphor mit langsamen Neutronen oder von Schwefel bzw. Chlor mit schnellen Neutronen erhalten wird. Durch Extraktion der gebildeten Phosphorisotope aus dem bestrahlten Schwefel oder Chlor bekommt man fast trägerfreie Präparate.
Die Strahlung des ^{32}P von 14,3 Tagen Halbwertszeit besteht aus einer einfachen β-Emission von 1,71 MeV Maximalenergie. [16]
engl.: phosphorus 32 *franz.: phosphore 32*

Phosphore heißen Stoffe, welche Phosphoreszenz zeigen (in weiterem Sinn allerdings oft auch solche, bei denen nur Fluoreszenz auftritt), d. h. nach Einstrahlung von Licht (oder unter Umständen auch von Elektronenstrahlen u. a.) über längere Zeit nach Aufhören der Bestrahlung Licht – mit anderer Wellenlänge –

aussenden. Sie sind experimentell schon von L e n a r d sehr eingehend untersucht worden, fanden aber neuerdings wieder erhöhter Interesse, teilweise im Zusammenhang mit ihrer weitgehenden technischen Anwendung.

Die P. speichern die eingestrahlte Energie teilweise auf und geben sie allmählich in Form von Lichtstrahlung wieder ab. Die Strahlung nimmt zeitlich nach einer Exponentialfuı ktion ab. Die Geschwindigkeit ihres Abklingens ist sehr stark temperaturabhängig; bei hoher Temperatur wird die Energie rasch abgegeben, so daß ein kurzes, aber starkes Nachleuchten erfolgt; bei niedriger Temperatur geht der Vorgang langsam, in einem langen, aber schwachen Nachleuchten vor sich. Bei extrem tiefen Temperaturen (flüssiger Luft) können die P. geradezu „einfrieren", d. h. sie halten die in ihnen aufgespeicherte Energie über sehr lange Zeit fast ohne Verlust fest. Werden sie dann wieder erwärmt, so geben sie die Energie in Form von Lichtstrahlung ab. Die beschleunigte vollständige Energieabgabe durch stärkere Erwärmung nennt man A u s l e u c h t e n eines P.s.

Der ganze Vorgang hängt davon ab, daß das Kristallgitter Störstellen aufweist. Als solche wirken meist eingelagerte Fremdatome. Daher können Kristalle völlig reiner Substanzen keine P. (im engeren Sinn) sein. Diese sind vielmehr stets durch eine, wenn auch minimale Verunreinigung (etwa 1 Fremdatom auf 10 000 Atome der Grundsubstanz) gekennzeichnet. Als Grundsubstanz kommen gleichermaßen Einkristalle oder vielkristallines Material („Kristallphosphore") in Betracht, z. B. Alkalihalogenide wie NaCl, NaBr usw., dann vor allem Oxyde und Sulfide der Erdalkalien, etwa BaO, und technisch ganz besonders das Zink- und Cadmiumsulfid, ZnS und CdS. Als Verunreinigungen, mit denen die P. „aktiviert" sind, spielen fast alle Schwermetalle eine Rolle, vor allem Kupfer, Mangan und Chrom. [1]
engl.: phosphors

Lit.: W. Finkelnburg, Atomphysik, 5./6. Aufl., Springer, Berlin, 1958. – F. Bandow, Lumineszenz, Wiss. Verlagsges., Stuttgart, 1950.

Phosphoreszenz, Eigenschaft eines Stoffes, nach einer Bestrahlung und Entfernung der Strahlenquelle weiterzuleuchten. Phosphoreszierende Stoffe sind die sog. Leuchtfarben. [3]
engl.: phosphorescence franz.: phosphorescence

Photo-Anregung, *Anregung eines Atoms oder Moleküls durch Absorption eines Photons, also durch Einstrahlung von Licht. [1]
engl.: photo excitation franz.: excitation par lumière

Photodiode, Sonderform der Germanium- und Siliziumdioden, an die eine Spannung in Sperrichtung gelegt wird. Bei Bestrahlung der Grenzschicht erniedrigt sich der Sperrwiderstand erheblich. Empfindlichkeit für Gammastrahlung kann durch Fluoreszenzschichten erhöht werden. Vorteil: sehr kleine räumliche Ausdehnung der empfindlichen Gebiete. Empfindlichkeit $>$ 30 mA/Lm. [6]
engl.: photodiode
Lit.: H. Richter, Transistor-Praxis, Franckh'sche Verl., Stuttgart, 1956.

Photoeffekt. Die Auslösung von Elektronen durch eine elektromagnetische Wellenstrahlung heißt P. Treten die Elektronen hierbei aus einem Leiter ins Freie (in das umgebende Gas oder ins Vakuum) aus, so spricht man vom ä u ß e r e n P. Dagegen besteht der i n n e r e P. oder H a l b l e i t e r - P. darin, daß gebundene Elektronen des Halbleiters durch die Wellenstrahlung in energiereichere Zustände angehoben werden, in denen sie eine gewisse Beweglichkeit haben und dadurch die Leitfähigkeit des Halbleiters erhöhen, in einer Sperrschicht evtl. auch eine Photospannung erzeugen (S p e r r s c h i c h t - P.). Der P. ist neben dem Compton-Effekt und der Bremsstrahlung maßgeblich für die Schwächung der Intensität von γ-Strahlen beim Durchgang durch die Materie (a t o m a r e r P., s. Schwächungskoeffizient, Abschirmung).
In allen Fällen wird e i n Quant der Strahlung dazu benutzt, um e i n Elektron energetisch anzuheben. Beim äußeren P. wird die übertragene Energie teilweise zur Überwindung der Austrittsarbeit A aufgebraucht; der Rest tritt als Bewegungsenergie $\frac{1}{2}\,m\,v^2$ des ausgelösten Elektrons in Erscheinung. Hier gilt daher die E i n -

s t e i n sche Gleichung:

$$h\nu = A + \frac{m}{2} v^2 ,$$

die zeigt, daß es für jede Metalloberfläche eine Minimalfrequenz $\nu_{min} = A/h$ gibt, oberhalb der erst ein P. eintreten kann. Bei den meisten Metallen liegt ν_{min} im Ultraviolett. Die Alkalimetalle mit ihrer relativ niedrigen Austrittsarbeit haben ein ν_{min} im sichtbaren Gebiet; am extremsten Cäsium mit $\nu_{min} = 640$ mμ. Mit dünnen Cäsiumschichten auf besonders präparierten Trägermetallen kann man sogar im Infrarot (bis etwa 1,7 μ) einen äußeren P. erhalten.
Sowohl der äußere wie auch der innere P. wird weitgehend technisch benützt, der äußere in der Vakuumphotozelle, der innere (und der Sperrschicht-P.) in den Photowiderstände und den Photoelementen. S. a. Kernphotoeffekt. [1]
engl.: photo-effect *franz.: effet photo-électrique*
Lit.: V. K. Zworykin und E. G. Ramberg, Photoelectricity and its application, John Wiley, New York, 1949. [1]

Photolyse. Zersetzung einer Substanz durch Strahlung, deren Spektrum meist im ultravioletten oder sichtbaren Gebiet liegt. [18]
engl.: photolysis *franz.: photolyse*

Photomultiplier, s. Photovervielfacher.

Photon (auch L i c h t q u a n t , S t r a h l u n g s - q u a n t , γ - Q u a n t), Energiequant der elektromagnetischen Strahlung, also von Licht, R ö n t g e n - Strahlen, γ-Strahlen usw.
P l a n c k machte bei der Ableitung seines Strahlungsgesetzes die damals revolutionäre Annahme (1900), daß von einem Temperaturstrahler die Strahlung nicht kontinuierlich, sondern in Quanten der Größe $h\nu$ abgegeben wird, eine Annahme, die sich in den seitdem verflossenen sechzig Jahren auf das glänzendste bestätigte und die Entwicklung der modernen Physik entscheidend bestimmte. Trotzdem ist diese Hypothese konsequent erst von E i n s t e i n (1905) auf Lichtstrahlen, losgelöst von der besonderen Art ihrer Erzeugung zur Deutung des Photoeffektes angewendet worden, der mit klassischen Vorstellungen unerklärlich blieb.

Alle Wechselwirkung zwischen Materie und elektromagnetischer Strahlung geschieht in der Form von Emission oder Absorption (auch Streuung kann als Absorption mit unmittelbar nachfolgender Reemission aufgefaßt werden) von P.n, wobei ein P. immer als Ganzes entsteht oder als Ganzes verschwindet zu Lasten oder zu Gunsten der Energie eines atomaren Systems, Kristallgitters usw. Auch die Fälle, bei denen ein P. einen Teil seiner Energie abgibt, wie etwa beim Compton-Effekt, können so aufgefaßt werden, daß das P. ganz absorbiert und dafür ein neues P. geringerer Energie ausgesandt wird.
Die Energie eines P.s, das zu einer Strahlung der Frequenz ν bzw. der (Vakuum-) Wellenlänge λ gehört, ist:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda},$$

wo $h = 6{,}625 \cdot 10^{-27}$ erg s das Plancksche Wirkungsquantum und $c \approx 3 \cdot 10^{10}$ cm s^{-1} die Lichtgeschwindigkeit bedeutet. Entsprechend dieser Energie hat natürlich auch jedes P. eine Masse – unbeschadet dessen, daß seine Ruhmasse Null ist – die sich aus der Energie bei Division durch c^2 ergibt.
In der nachfolgenden Tabelle sind für einige Strahlungen bestimmter Wellenlänge (in Ångström-Einheiten) die Energien der zugehörigen P.n in Elektronenvolt und ihre Massen in Elektronenmassen angegeben.
Die Einsteinsche Hypothese vom P., die auf dem Boden der klassischen Physik erfolgte, ist in sich widerspruchsvoll, denn zur Definition des P.s, ausgedrückt

Strahlung	Wellenlänge [Å]	Photon	
		Energie E [eV]	Masse m [Elektronenmassen]
Sichtbares Licht (Rot)	7500	1,65	$\approx 3 \cdot 10^{-6}$
Sichtbares Licht (Violett)	4000	3,1	
Ultraviolett	1000	12,4	
Weiche Röntgen-Strahlen	1,24	10 000	0,02
Harte Röntgen-Strahlen	0,124	100 000	0,2
γ-Strahlen	0,0124	1 000 000	2
Härteste Strahlung (Synchrotron)	0,0000124	1 000 000 000	2000

durch seine Energie $h\nu$, werden die Welleneigenschaften des Lichts benutzt; diese sind also vorausgesetzt. Es ist daher nicht so, daß die Partikelauffassung des Lichts die Auffassung von der Wellennatur abgelöst hätte, vielmehr stehen beide Bilder gleichberechtigt nebeneinander. Grundsätzlich kann man die widersprechenden Eigenschaften nicht gleichzeitig wahrnehmen. Die Beobachtung des einen macht die des anderen unmöglich. Derartige Eigenschaften der elementaren Gebilde der Natur bezeichnet man als komplementär. Die Tatsache, daß die Natur in zweierlei, einander widersprechender Weise durch unsere Anschauung erfaßt wird, heißt Dualismus. Die Theorie, die diese sich anschaulich widersprechenden Bilder umfaßt die Quantenmechanik. [1, 7]

engl.: photon *franz.: photon*

Lit.: W. Finkelnburg, Atomphysik, 5./6. Aufl., Springer, Berlin, 1958. – W. Riezler, Kernphysik, 6. Aufl., Oldenbourg, München, 1958. – G. Wentzel, Quantentehorie der Wellenfelder, Deuticke, Wien, 1943.

Photoneutronen werden durch γ-Quanten, deren Energie die Bindungsenergie der Neutronen im Atomkern übersteigt, aus dem letzteren herausgeschlagen. Man nennt sie (γ, n)-Prozesse. Die Schwellenergie, d. h. die Energie, die ein γ-Quant mindestens besitzen muß, um einen (γ, n)-Prozeß auslösen zu können, beträgt bei den meisten Kernen 6 bis 8 MeV. Bei Deuterium jedoch liegt diese Schwelle bei 2,23 MeV und bei Beryllium sogar bei 1,6 MeV. Diese Tatsache wird zur Herstellung von Photoneutronenquellen benutzt. Als γ-Strahler werden dabei die in der Natur vorkommenden Elemente Radium und Mesothorium sowie die künstlich erzeugten Isotope ^{24}Na, ^{72}Ga, ^{124}Sb und ^{140}La verwendet. Da die γ-Strahlen eines Isotops ganz bestimmte Energien haben, sind die entstehenden P. im wesentlichen monoenergetisch. Bei den natürlichen Strahlern ^{226}Ra und Mesothorium (^{228}Ra) sind die radioaktiven Folgeprodukte zu beachten, die bewirken, daß diese Quellen mehrere Linien haben. – Die γ-Strahlenquelle wird mitten in ein mit Be oder D_2O gefülltes Gefäß (mehrere cm $\varnothing$) gebracht. Die Ausbeute von 100 mg Ra γ-Be (einige 100 g) entspricht etwa 10 mg Ra α-Be.

P. entstehen in einem mit D_2O moderierten Reaktor durch die 2,21 MeV übersteigende γ-Strahlung, die von einigen radioaktiven Zerfallsprodukten ausgesandt wird. Diese treten ähnlich wie die verzögerten Spaltneutronen eine Zeit nach der Spaltung in Erscheinung, die durch die Zerfallszeiten der γ-Strahler bestimmt ist. Dadurch wird einmal die Neutronenbilanz im Reaktor als ganzes verbessert, zum anderen wird die Zahl der verzögerten Neutronen erhöht und damit die mittlere Lebensdauer der Neutronen verlängert. Dies wirkt sich sehr günstig auf die Kinetik des Reaktors, besonders auf seine Stabilität aus. Man kann auch hier nach der Lebensdauer verschiedene Gruppen unterscheiden. Ihre Daten sind der folgenden Tabelle zu entnehmen:

Gruppe	Halbwertszeit s	Häufigkeit β bezogen auf 10^5 prompte Neutronen
1	2,5	78
2	41	24
3	144	8,4
4	462	4,0
5	1 620	2,5
6	5 940	2,8
7	15 840	0,39
8	190 800	0,12
9	1 105 200	0,05

Bei D_2O- und Be-Reaktoren sind Photoneutronen von Bedeutung für die *Reaktorkinetik. [7]
engl.: photo neutrons *franz.: photoneutrons*

Photoplatte im Sinne von Kernspurplatte, s. Photoschichtspuren.

Photoschichtspuren. Energiereiche geladene Teilchen erzeugen beim Durchgang durch Materie Ionisationen. In einer photographischen Schicht sind die erzeugten Ionen Keime zu Schwärzungskörnern, sind also entwicklungsfähig. Die Folge der Schwärzungskörner nennt man P. Sie liefern seit kurzem ein hervorragendes Untersuchungsmittel solcher Teilchen, vor allem für Teilchen der kosmischen Strahlung.

Die Forderungen schließen sich teilweise gegenseitig aus. a) Einerseits soll die Empfindlichkeit so groß sein, daß selbst Teilchen mit einer Minimumionisation sichtbare Spuren hinterlassen. Das erfordert große Körner. Andererseits sollen energiearme Teilchen mit kurzer Reichweite eine aus mehreren Körnern bestehende Spur hinterlassen, wozu kleine Körner erforderlich sind. b) Ähnliche widersprechende Forderungen ergeben sich aus der Auswerttechnik. Die Zählung der Korndichte unter dem Mikroskop erfordert isolierte Körner, die Messung der Kleinwinkelstreuung läßt hohe Konzentration der Silberhalogenide wünschenswert erscheinen, um einen guten Effekt zu kriegen. c) Bei der Entwicklung darf keine Verzerrung auftreten, was für dünne Schichten spricht. Um jedoch die Spuren über lange Strecken verfolgen zu können, soll die Platte möglichst dick sein. – Der Siegeszug der Kernspurplatte begann, als es gelang, die widersprechenden Forderungen mehr oder weniger gut in d i k - k e n Schichten (bis zu 500 μ) zu vereinen. Um den Extremen Rechnung zu tragen, sind verschiedene Typen entwickelt worden. Um durchdringendere Strahlen und ihre Wirkungen verfolgen zu können, hat man Pakete von Photoplatten, u. U. auch nur von photographischen Schichten (ohne Glasträger) verwandt. Ähnlich wie in der Nebelkammer lassen sich auch bei den P. aus dem Aussehen der Spur (Anzahl der Körner je Längeneinheit) und aus der Reichweite Schlüsse auf die Art der Teilchen und auf ihre Energie ziehen. Der Hauptvorteil der Kernspurplatte ist, daß sie stets aufnahmebereit ist und Spuren konserviert. Der wesentliche Nachteil ist, daß sie keine zeitliche Zuordnung der Ereignisse ermöglicht. [1, 7]

engl.: emulsion tracks

franz.: traces dans l'émulsion photosensible

Lit.: C. F. Powell u. G. P. S. Occhialini, Nuclear Physics in Photographs, Clarendon Press, Oxford, 1947. – W. Riezler, Kernphysik, 6. Aufl., Oldenbourg, München, 1958.

Photospaltung, Kernspaltung durch ein energiereiches Photon. Die P. ist bei einigen der schwersten Kerne durch Photonen von etwa 20 MeV aufwärts mit merklicher Ausbeute möglich. [1]

engl.: photo fission *franz.: photofission*

Photosynthese, s. Nachtrag.

Phototransistor, eine dünne Schicht aus Germanium oder Silizium, in der durch Bestrahlung mit Licht Lochstellen erzeugt werden. Durch Transistorwirkung fließt ein größerer Strom durch den P., als der Zahl der ursprünglich frei gemachten Ladungsträger entsprechen würde. Empfindlichkeit bis 100 mA/Lm. S. a. Photodiode. [6]
engl.: phototransistor *franz.: phototransistor*

Photoumwandlung, jede Umwandlung eines Atomkerns durch ein γ-Quant, also z. B. (γ, α)-, (γ, p)- und insbesondere (γ, n)-Prozesse. Die letzteren werden auch als Kernphotoeffekt bezeichnet und bilden eine besonders wichtige Gruppe von Kernprozessen. [1]
engl.: photo disintegration
franz.: photo transmutation

Photovervielfacher. Hochvakuumgerät zum Nachweis geringer Lichtmengen.
Die durch einfallendes Licht an einer Photokathode ausgelösten Elektronen werden durch elektrische Felder beschleunigt und auf *Prallelektroden gelenkt. Jedes auftreffende Elektron löst 4 bis 20 Sekundärelektronen aus. Durch Wiederholung dieses Vorganges ist eine nahezu trägheitsfreie Verstärkung ursprünglich sehr kleiner Elektronenströme möglich. Verstärkungsgrade von mehr als 10^8 lassen sich erzielen.
Da die Verstärkung spannungsabhängig ist, muß die Betriebsspannung stabilisiert werden.
Zahlreiche technische Ausführungsformen mit vielen (bis zu 12) mannigfach geformten Elektroden.
Nulleffekt durch thermische Emission der ersten (Photo-)Kathode bei Zimmertemperatur kann durch Kühlung erniedrigt werden. [6]
engl.: (photo)multiplier
franz.: (tube) photomultiplicateur

Photozelle, s. Nachtrag.

pH-Wert. Maß für den Säuregrad bzw. den Grad der Alkalität einer Lösung. Er ist der negative Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration

$$\mathrm{pH} = -\log\,[\mathrm{H}^+]\,.$$

Wasser hat eine H^+-Konzentration von 10^{-7} Mol l^{-1}, also einen pH-Wert von 7. pH-Werte > 7 zeigen an, daß eine Lösung alkalisch, Werte < 7, daß die Lösung sauer ist. [3]
engl.: pH-value
franz.: pH

Pickle Barrel, wörtlich Pökelfaß, amerikanischer Slang-Ausdruck für eine unterkritische Anordnung von Brennstoff, Moderator und Neutronenquelle. Der Behälter ist von der Größe eines Pökel-Fasses. [7]

Pile-Aktivierung, Begriff der Isotopentechnik. Neutronenaktivierung durch Neutronen eines Reaktors, d. h. einem Gemisch von schnellen und langsamen Neutronen, wobei die schnellen Neutronen je nach dem Bestrahlungsort im Reaktor mehr oder minder in den Hintergrund treten. Die P. ist in der Isotopentechnik der Regelfall (s. *Neutronenaktivierung, *Pilefaktor). Der Ausdruck P. sollte aus sprachlichen Gründen durch R e a k t o r a k t i v i e r u n g ersetzt werden. [16]
engl.: pile activation
franz.: activation par pile

Pile-Faktor, Maß für den thermischen Neutronenfluß in den Bestrahlungskanälen der englischen Kernreaktoren, wie z. B. BEPO und DIDO. Die Einheit des P.-F.s ist 10^{11} thermische Neutronen/cm^2/s. Bei konstanter Reaktorleistung ist der P.-F. im wesentlichen vom Abstand des Bestrahlungsortes vom äußeren Rand der Spaltzone abhängig.
Zur Zeit reichen die Bestrahlungsmöglichkeiten im Reaktor DIDO bis zum P.-F. 1000. [16]
engl.: pile factor
franz.: facteur de pile
Lit.: Radioactive Material and Stable Isotopes, Catalogue No. 4, Isotope Division, Harwell, England, 1957.

Pile-Oszillator, s. Reaktoroszillator.

Pinch-Effekt. Elektrische Lichtbögen verringern ihren Durchmesser, sobald die Stromstärke einen gewissen Betrag übersteigt. Dieser Effekt ist als eigenmagnetische Kontraktion bekannt. Qualitativ ist sie verständlich aus der Anziehung paralleler Ströme oder dadurch, daß der „magnetische Druck" gleich oder größer wird als der Gasdruck.

Der Begriff des magnetischen Druckes läßt sich aus den *hydromagnetischen Gleichungen ableiten, wenn man in den Bewegungsgleichungen den Drucktensor durch den skalaren (hydrostatischen) Druck p ersetzt. Es folgt

$$\nabla p = \frac{1}{4\pi} \mathfrak{B} \cdot \nabla \mathfrak{B} - \frac{1}{8\pi} \nabla B^2 .$$

Sind die magnetischen Kraftlinien $\mathfrak{B}$ gerade und parallel, läßt sich diese Gleichung sofort integrieren zu

$$p + \frac{1}{8\pi} B^2 = \text{const} .$$

Das zweite Glied hat die Dimension eines Druckes und wird als der „magnetische Druck" bezeichnet.
Quantitativ wird die Grenzstromstärke I_g, bei welcher der P.-E. eintritt, gegeben durch die Bennettsche Beziehung

$$I_g = \frac{4}{\mu_0} N k \overline{T} ,$$

wobei N die Zahl der Ladungsträger pro cm Säulenlänge, k die Boltzmann-Konstante, $\overline{T}$ die über den Säulenquerschnitt gemittelt Temperatur und μ_0 die Induktionskonstante ist (Bennet, Tonks, Pease).
Ein Lichtbogen im kontrahierten Zustand in genau axialer Lage ist in einem labilen Gleichgewicht. Es treten verschiedene Arten von Instabilitäten auf. Bisher ist für keine Plasmakonfiguration, bei welcher der Druck in einem endlichen Volumen groß ist und außerhalb dieses Volumens nach allen Seiten abfällt, Stabilität nachgewiesen worden (Biermann, Schlüter, Kruskal, Schwarzschild, Tayler).

Bei kurzzeitigen Entladungen wird der P.-E. eingeleitet durch eine Stoßwelle, die zur Achse der Säule läuft und von dort „reflektiert" wird, wodurch das bei Impulsentladungen beobachtete Oszillieren des Säulendurchmessers und des Stromes erklärbar wird.

Der P.-E. spielt eine Rolle in der Höchsttemperaturforschung und insbesondere im Zusammenhang mit

Experimenten über thermische *Fusion von Atomkernen. S. *Zeta-Gerät, Perhapsotron. [27]
engl.: pinch-effect
franz.: effet de contraction magnétique

Lit.: W. H. Bennett, Phys. Rev. 45, 890 (1934). – L. Tonks, Trans. Electrochem. Soc. 72, 167 (1937). – R. S. Pease, Proc. Phys. Soc. B 70, 11 (1957). – L. C. Burkhardt et al., J. Appl. Phys. 28, 510 (1957). – L. Biermann und A. Schlüter, Z. Naturforsch. 12 a, 805 (1957). – M. D. Kurskal and M. Schwarzschild, Proc. Roy. Soc. A 223, (1954). – R. J. Tayler, Proc. Phys. Soc. B 70, 31 (1957). – M. A. Leontovitsch u. S. M. Osovets, Atomnaya Energiya 3, 81 (1956), übersetzt in J. Nucl. Energy 4, 209 (1957).

PI-Regler, einfacher *Regler mit proportional-integraler *Übertragungsfunktion. S. a. Regelung, Frequenzgang, Nachlaufzeit. [9]
engl.: PI-controller
franz.: contrôle intégral proportionnel

PI-Übertrager, s. u. PI-Regler.

Plancksche Konstante, svw. *P l a n c k sches Wirkungsquantum.

Plancksches Wirkungsquantum. Das W. wurde von P l a n c k zur Behebung der Diskrepanz zwischen Theorie und Erfahrung bei kurzwelliger Strahlung eingeführt. Das W. liefert, multipliziert mit der Frequenz ν eine Energie. Die Interpretation dieses Ausdrucks der P l a n c k schen Strahlungsformel führt zu der Forderung der Existenz von Energiequanten. Der Zahlwert des W. $h = 6{,}625 \cdot 10^{-27}$ erg s bestimmt die Größe dieser Energiequanten. [7]
engl.: Planck's constant
franz.: quantum d'action de Planck

Plasma. Das P. ist ein ionisiertes Gas, besteht also aus positiven Ionen und Elektronen i. a. neben Neutralteilchen (Atomen, Molekülen). Man unterscheidet teilweise und vollständig ionisierte Plasmen. Voraussetzung für den Plasmazustand eines Gases ist, daß – nach der Definition von L a n g m u i r – der Debye-Radius sehr klein gegen die charakteristische Dimension (Gefäßdurchmesser) ist. Im P. erfolgen Reaktionen zwischen den einzelnen Teilchen. Die wichtigsten sind: Dissoziation, Ionisation, Termanregung, Emission von Strahlung, Photorekombination, Rekombination durch Dreierstöße, Strahlungsemission durch frei-frei Übergänge (*Bremsstrahlung).

Da ein Plasma gewöhnlich aus einem Neutralgas durch ionisierende Reaktionen entsteht, besitzt es eine gleiche Anzahl von positiven und negativen Ladungen, d. h. es ist quasineutral. Würde in einem relativ großen Volumen eine merkliche Abweichung von dieser Gleichheit der Ladungszahl herrschen, entstünde ein elektrostatisches Potential, das weitaus größer als die mittlere thermische Energie wäre. Dadurch würde eine Bewegung der Ladungsträger erfolgen, die diesen Ladungsunterschied auszugleichen versucht, um die Quasineutralität wieder herzustellen. – Der Debye-Radius gibt ein Maß für die Kleinheit eines Volumens, unterhalb dem die positiven und negativen Ladungszahlen merklich voneinander abweichen können, ohne die Bedingung der Quasineutralität zu verletzen (s. Mikrofelder im Plasma). Ferner ist das P. diamagnetisch, d. h. beim Einbringen in ein Magnetfeld nimmt es eine Magnetisierung an, welche proportional zur magnetischen Feldstärke, dieser aber entgegengerichtet ist (s. a. Pincheffekt). Das P. verhält sich ähnlich wie ein Supraleiter und kann äußere Magnetfelder absorbieren und elektrische Felder kurzschließen. Das P. besitzt insbesondere eine große elektrische *Leitfähigkeit.

Man unterscheidet noch zwischen einem isothermen P., bei dem jede Komponente dieselbe Temperatur hat, und einem nichtisothermen P., bei dem die Temperaturen der einzelnen Komponenten (Elektronen, Ionen, Atome) verschieden sind. Weiterhin kann man jedem Energiezustand eine Temperatur zuordnen, wie z. B. den angeregten Zuständen eine Termtemperatur, dem ionisierten Zustand eine Ionisationstemperatur usw. Das ist definitionsgemäß diejenige Temperatur, die ein System im thermodynamischen Gleichgewicht bei derselben Besetzungszahl des angeregten bzw. ionisierten Zustands haben müßte. Die Berechnung solcher (Gleichgewichts-) Eigenschaften geschieht mit Hilfe der Methoden der statistischen Mechanik.

Infolge innerer Kräfte, die auf die Erhaltung der Ladungsgleichgewichts abzielen, können sich im P. longitudinale Schwingungen ausbilden, wo-

bei man Elektronenschwingungen und Ionenschwingungen (letztere mit wesentlich kleinerer Frequenz) unterscheidet. Demzufolge besitzt das Plasma einen Brechungsindex für elektromagnetische Wellen. Während gewöhnliches Licht ein P. geringer Opazität fast ungestört durchsetzt, werden Radiowellen geeigneter Frequenz vom Plasma reflektiert bzw. absorbiert. Diesen Umstand kann man zur experimentellen Bestimmung der Elektronendichte in teilionisierten P.n anwenden (s. a. elektromagnetische Wellen im Plasma). Die Dynamik von P.n (*Strömungen ionisierter Gase) wird durch die *Magnetohydrodynamik beschrieben. Zu den *hydromagnetischen Gleichungen treten dabei noch die Maxwellschen Gleichungen der Elektrodynamik. Wirkt ein Magnetfeld auf ein P. ein, dann können die Alfvenschen oder hydromagnetischen *Wellen auftreten.

Eine strenge Beschreibung der Nichtgleichgewichtsvorgänge in P.n, insbesondere *Transporterscheinungen, geschieht mit Hilfe der kinetischen *Gastheorie. Bei den Stoßprozessen sind weniger die direkten Streuvorgänge maßgeblich, als vielmehr die kumulative Wechselwirkung auf größere Entfernung, die ähnlich wie die Brownsche Bewegung behandelt werden kann (s. *Fokker-Planck-Gleichung).

Plasmaforschung ist von Bedeutung für astrophysikalische Probleme, elektrische Entladungen, Höhentemperaturforschung und insbesondere für die thermischen *Fusionsprozesse. [27]

engl.: plasma

franz.: plasma

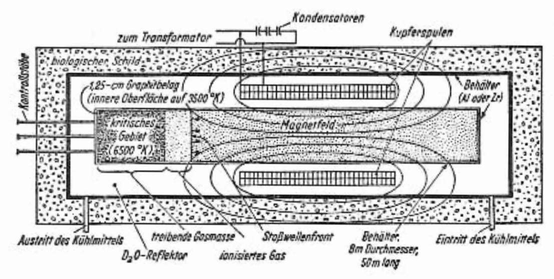
Lit.: L. Spitzer Jr., Physics of Fully Ionized Gases, Interscience Publ., New York, 1956. – H. Alfven, Cosmical Electrodynamcs, Oxford Univ. Press, 1950. – S. Chandrasekhar, Principles of Stellar Dynamics, Univ. of Chicago Press, 1942.

Plasmaschwingungen, s. Plasma.

engl.: plasma oscillations

franz.: oscillations du plasma

Plasma-Spaltungsreaktor, ein von Colgate und Aamodt vorgeschlagenes Projekt einer Kernenergieanlage, die es erlaubt, Kernenergie unmittelbar in Elektrizität umzusetzen. Die Grundzüge des P. gehen aus der Abb. hervor.



Plasma-Spaltungsreaktor

Die zylindrische Reaktionskammer von etwa 50 m Länge und 8 m Durchmesser enthält gerade soviel gasförmiges Uran bei Atmosphärendruck, daß die Anordnung bei gleichmäßiger Verteilung des Gases etwas unterkritisch ist. Wenn das Gas an einem Ende des Zylinders komprimiert wird, entsteht eine kritische Anordnung und die Kettenreaktion setzt ein. Die entstehende Energie erzeugt eine Stoßwelle von einer Geschwindigkeit von $1{,}6 \cdot 10^5$ m/s, die zur anderen Seite des Zylinders läuft. Dort ergibt sich wieder eine kritische Anordnung und die Stoßwelle wird reflektiert. Auf diese Weise oszilliert das Gas im Zylinder mit einer Frequenz von etwa 20/s. Das Gas ist ionisiert ($T \approx 6500$ °K) und induziert in den Spulen, die sich außerhalb des Reaktionsgefäßes befinden, eine Wechselspannung. Dabei verliert das Gas einen Teil seiner kinetischen Energie, die an den äußeren Resonanzkreis abgegeben wird. Um eine ausreichende Energieabgabe zu erzielen, muß die Magnetfeldstärke so gewählt werden, daß der von ihm auf die Stoßwelle ausgeübte Druck etwa gleich dem der Stoßwelle ist ($H \approx 3200$ Gauß). Der Graphitbelag dient als thermischer Schild, um das Sieden des Schwerwasser-Reflektors zu verhindern.

Der Entwurf sieht 500 MW als minimale Leistung vor. Es wird ein thermodynamischer Wirkungsgrad von 30 % und ein Wirkungsgrad der Gesamtanlage von 20 % erwartet. Bei größeren Anlagen dürfte sich vermutlich ein höherer Wirkungsgrad erzielen lassen.

Bisher ist über Versuche zur Realisierung dieses interessanten Vorschlags nichts bekannt geworden. [13, 21]
engl.: fission-plasma reactor
franz.: réacteur à fission en plasma
Lit.: S. A. Colgate and R. L. Aamodt, Plasma Reactor Promises Direct Electric Power, Nucleonics 15, No. 8, August 1957.

Plasmastabilisierung, s. Nachtrag.

Plastik-Szintillatoren, besser Kunststoffszintillatoren, Kunststoff, dem bei der Herstellung ein oder mehrere Fluoreszenzsubstanzen beigemischt wurden. Borhaltige Beimischungen ergeben Empfindlichkeit für thermische Neutronen. Liegt die Fluoreszenz besonders bei Rückstoßprotonen im Ultravioletten, so fügt man Materialien bei, die durch UV Anregung sichtbares Licht aussenden. Dünne Folien (0,02–0,2 mm) eignen sich gut zum Nachweis von Alphateilchen und Protonen bei starkem Beta- und Gamma-Untergrund. [6]
engl.: plastic scintillators
franz.: scintillateurs plastiques

Plastizität. Die Verformung eines Materials besteht aus einem elastischen und einem plastischen Anteil. Die elastische Verformung geht nach Entfernung der verformenden Last wieder vollständig zurück, während die plastische Verformung bleibt. Diese stellt eine *Gleitung einzelner Kristallbereiche gegeneinander dar (Bewegung von *Versetzungen). [4]
engl.: plasticity *franz.: plasticité*
Lit.: E. Schmid u. W. Boas, Kristallplastizität, Springer, Berlin, 1935. – G. Masing, Lehrbuch d. allg. Metallkunde, Springer, Berlin, 1950. – P. Haasen u. G. Leibfried, Die plastische Verformung von Metallkristallen und ihre physikalischen Grundlagen, Fortschr. d. Phys. 2 (1954), 73.

Plateau (Zählrohr), derjenige Bereich der Zählrohrcharakteristik, in dem die Zählrate nahezu unabhängig von der angelegten Spannung ist. Die Länge des P.s ist derjenige Spannungsbereich, in dem ein Zählrohr zuverlässig arbeitet. [7]
engl.: plateau *franz.: plateau*

Platin (Pt). Metallisches Element der Ordnungszahl 78, Atomgewicht 195,09, Schmelzpunkt 1774 °C, Dichte 21,45, Einfangsquerschnitt für thermische Neutronen $\sigma = 10$ barn. Das natürlich vorkommende Pt enthält zu 0,012 % das Isotop Pt-190, einen α-Strahler von $\sim 10^{12}$ a Halbwertszeit.

$$^{190}_{78}\mathrm{Pt} \xrightarrow[10^{12}\,\mathrm{a}]{\alpha} {}^{186}_{76}\mathrm{Os}$$

Im Kernreaktor können durch Bestrahlung verschiedene radioaktive Isotope des wichtigen Edelmetalls Pt erzeugt werden.

n-Strahlung	bestrahltes Isotop	Reaktion	entstand. Pt-Isotop	Halbwertszeit	Strahlung
schnell	^{192}Pt	n, 2 n	^{191}Pt	3 d	K, γ
schnell	^{194}Pt	n, 2 n	^{193}Pt	4 d	K, γ, e
langs.	^{192}Pt	n, γ	^{193}Pt	4 d	K, γ, e
schnell	^{198}Hg	n, α	$^{195}Pt^*$	80 min	γ, e
langs.	^{196}Pt	n, γ	^{197}Pt	18 h	β
schnell	^{200}Hg	n, α	^{197}Pt	18 h	β
schnell	^{198}Pt	n, 2 n	^{197}Pt	18 h	β
langs.	^{198}Pt	n, γ	^{199}Pt	31 min	β
schnell	^{202}Hg	n, α	^{199}Pt	31 min	β

Bei der Erzeugung von radioaktiven Pt-Isotopen über Bestrahlung des Quecksilbers sind durch chemische Abtrennungen größere spezifische Aktivitäten erzielbar. [3, 16]

engl.: platinum *franz.: platine*

Plattenzähler, Geräte ähnlich Zählrohren, deren Elektroden zwei oder mehr ebene Metallplatten sind. Abstand der Metallplatten einige Millimeter bis Zentimeter. Plattenoberflächen müssen hochpoliert sein und bei kleinen Abständen sehr gut parallel laufen. Verhältnismäßig hohe Anodenspannungen sind erforderlich. [6]

engl.: parallel-plate counter
franz.: compteur à Plaques

Plattieren, Aufbringen einer Metallschicht auf ein anderes Metall, indem man die sorgfältig gereinigten Oberflächen in guten Kontakt miteinander bringt und – meist bei höherer Temperatur – durch *Walzen, *Ziehen oder Pressen miteinander verschweißt. [4]

engl.: plating, cladding *franz.: placage*

Plugging-Indikator, Verstopfungsanzeiger. Dient zur Messung des O_2-Gehaltes im Natrium bei natrium-

gekühlten Reaktoren. O_2 führt zur Bildung von Na_2O-Ballen, die zur Verstopfung von Leitungen Anlaß geben. [6]

engl.: plugging indicator

franz.: indicateur de plugging

Lit.: Basic technology of the Sodium-Graphite Reactor, in: Peaceful Uses of Atomic Energy, Bd. VI, Vereinte Nationen, Genf, 1955.

Plutonium, das wichtigste der künstlich durch Kernumwandlung gewonnenen Transurane; chemisches Symbol Pu. Metall mit der Dichte 19,4; Ordnungszahl 94; Atomgewicht 239; Schmelzpunkt 640 °C; Siedepunkt ungefähr 3500 °C. Charakteristisch für das Metall ist das Auftreten von insgesamt sechs verschiedenen Modifikationen verschiedener Dichte und verschiedener Wärmeausdehnung zwischen Zimmertemperatur und Schmelzpunkt. Die Kristallstrukturen sind: monoklin, orthorhombisch flächenzentriert, kubisch flächenzentriert, tetragonal raumzentriert, kubisch raumzentriert. Die Tabelle gibt die Umwandlungstemperaturen in °C beim Erwärmen und Abkühlen.

	Erwärmen	Abkühlen
$\alpha \rightleftarrows \beta$	136	85
$\beta \rightleftarrows \gamma$	225	160
$\gamma \rightleftarrows \delta$	320	250
$\delta \rightleftarrows \delta'$		
$\delta' \rightleftarrows \varepsilon$	480	480

Die δ-Phase zeichnet sich dadurch aus, daß sie einen negativen Ausdehnungskoeffizienten besitzt, was bisher noch nie bei einem reinen Metall beobachtet wurde. Die Wärmeleitfähigkeit des Metalls ist sehr gering, so daß ein mit Neutronen bestrahltes Metallstück sehr rasch die verschiedenen Phasenänderungen durchläuft und schließlich im Inneren zum Schmelzen kommt. Als erstes Isotop wurde 1940 in den USA das Isotop mit der Massenzahl 238 gefunden, welches aus dem Neptunium $^{238}_{93}Np$ durch β-Zerfall entsteht und selbst ein α-Strahler mit 92 Jahren Halbwertszeit ist.

Als ungleich wichtiger erwies sich aber das 1941 von Seaborg und Mitarbeitern entdeckte Isotop $^{239}_{94}Pu$, das durch β-Zerfall aus dem entsprechenden Neptuniumisotop $^{239}_{93}Np$ entsteht und α-Strahlen mit einer

Halbwertszeit von 24 000 Jahren aussendet. Dieses hat nämlich wie das Uran 235 die Eigenschaft, daß sein Kern durch langsame Neutronen gespalten wird, und daß es eine Kettenreaktion ermöglicht. Es ist dadurch zum Atomsprengstoff und vor allem auch zum Brennstoff für Reaktoren geeignet.

Das $^{239}_{94}Pu$ ist als erstes der künstlichen Elemente in wägbaren Mengen hergestellt worden, nämlich $^1/_{1000}$ mg mittels des Zyklotrons, später in technischem Ausmaß im Reaktor durch Anlagerung von Neutronen an $^{238}_{92}U$. Das so gebildete $^{239}_{92}U$ geht durch zweimaligen β-Zerfall in $^{239}_{94}Pu$ über. Besonders schwierig ist die chemische Abtrennung des zunächst mit äußerst gefährlichen Spaltprodukten vermengten Isotops. Das $^{239}_{94}Pu$ selbst ist seiner schwachen Strahlung wegen, solange seine Menge unterhalb der kritischen Größe bleibt, eine ungefährliche Substanz. Es ist jedoch extrem giftig.

Das radioaktive Isotop der Massenzahl 241 kann durch Bestrahlung von Uran 238 mit sehr energiereichen α-Strahlen gewonnen werden. Es entsteht auch im Reaktor durch mehrere Neutroneneinfänge und β-Übergänge der entstandenen Zwischenkerne. Es ist spaltbar und sendet β-Strahlen aus, wobei es in $^{241}_{95}Am$ übergeht. Weiterhin konnten noch fünf leichtere, kurzlebige Isotope des P. mit Massenzahlen von 232 bis 237 erhalten werden, sowie die langlebigen Isotope Pu 240 und Pu 242 (dieses mit einer Halbwertszeit von 500 000 Jahren) und endlich noch die Isotope Pu 243, Pu 244 und Pu 246.

[1, 4, 20]

engl.: plutonium

franz.: plutonium

Lit.: O. Hahn, Künstliche neue Elemente, Chemie, Weinheim, 1948. – Landolt-Börnstein, Zahlenwerte und Funktionen, I. Bd., 5. Teil, 6. Aufl., Springer, Berlin, 1957. – L. M. Wyatt, Nuclear Power 1, 125–129 (1956).

Plutoniumfluorierung, s. Uranfluorierung.

Plutoniumproduktionsreaktor, Plutoniumfabrik, s. Leistungsreaktor u. Tabellen in Bd. I.

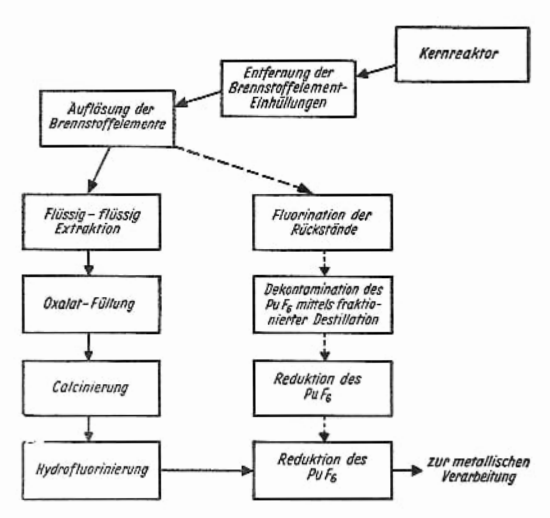
Plutonium-Reaktor ist ein Kernreaktor, in dem das spaltbare Material in erster Linie aus Plutonium be-

steht. Ein Beispiel ist der Nullreaktor Zeus (AERE, Harwell), der mit schnellen Spaltungen arbeitet. [7]
engl.: plutonium reactor
franz.: réacteur à plutonium

Plutonium-Zyklus. Durch Neutroneneinfang im U^{238} entsteht im Kernreaktor nach dem Schema

$$U^{238}(n, \gamma)\, U^{239} \xrightarrow[23\ \text{min}]{\beta^-} Np^{239} \xrightarrow[2{,}3\ \text{d}]{\beta^-} Pu^{239}$$

über zwei kurzlebige Zwischenprodukte das langlebige Pu^{239}, welches durch thermische Neutronen spaltbar ist. Wird das so gewonnene Pu^{239} in einem Reaktor als Spaltstoff eingesetzt, so arbeitet dieser Reaktor nach dem P.-Z. Besonders vorteilhaft ist es, einen schnellen Reaktor mit dem Zweistoffsystem U^{238}-Pu^{239} zu betreiben, da auf diese Weise hohe Brutgewinne erzielt werden können (s. Brennstoffzyklen). Das Ver-



Plutoniumzyklus im Fluorierungsaufbereitungsprozeß

halten von Reaktoren mit P.-Z. hängt entscheidend vom Aufbau der höheren Pu-Isotope ab, die durch Neutroneneinfang entstehen. Hierzu gehören vor allem

die nicht thermisch spaltbaren, stark Neutronen absorbierenden und langlebigen Isotope ^{240}Pu und ^{242}Pu sowie das spaltbare, kurzlebige ^{241}Pu. [12]
engl.: plutonium cycle
franz.: cycle du plutonium

(p, n)-Batterie, s. Atombatterie.

polar, svw. heteropolar, s. Bindung, chemische.

Polieren, elektrolytisches. Poliermethode für Metalloberflächen. Dabei wird das Metall als Anode in einen Elektrolyten gebracht; bei Stromdurchgang gehen die hervorstehenden Unebenheiten der Oberfläche bevorzugt in Lösung. Bei günstiger Wahl der Konzentration, der Stromdichte und der Temperatur erhält man glatte, glänzende Oberflächen. [4]
engl.: electrolytic polishing
franz.: polissage électrolytique

Polonium, natürlich radioaktives Element von der Ordnungszahl 84 (chemisches Symbol Po), das als Isotop mit der Massenzahl 210 in der Uran-Radium-Zerfallsreihe vorkommt. Es hat eine Halbwertszeit von 136,3 Tagen und sendet α-Strahlen von 5,3 MeV Energie aus. Da es sich von den anderen Gliedern der Zerfallsreihe leicht abtrennen läßt und sein eigenes Zerfallsprodukt das stabile Bleiisotop $^{206}_{82}Pb$ ist, findet es Verwendung als Quelle von α-Strahlen einheitlicher Energie, die von anderen Strahlungen frei sind. Häufig wird es zur Ionisierung der Luft für Abkühlung elektrostatischer Ladungen oder in sog. Polonium-Beryllium-Neutronenquellen benutzt. Im menschlichen Körper ist ^{210}Po eines der gefährlichsten radioaktiven Gifte. Künstlich erzeugt man P. durch Bestrahlung von Wismut im Atomreaktor mit langsamen Neutronen

$$^{209}\mathrm{Bi}\ (\mathrm{n}, \gamma)\ ^{210}\mathrm{Bi} \xrightarrow[\beta^-]{5\ \mathrm{d}} {}^{210}\mathrm{Po}\,.$$

Außer dem Isotop mit der Massenzahl 210 gibt es noch eine Anzahl anderer, ebenfalls radioaktiver Isotope des P.s. [1, 16]
engl.: polonium
franz.: polonium

Polymerisation. Aneinanderlagerung von vielen Einzelmolekülen zu einem großen Molekül. Die P. tritt

unter anderem auch bei Strahleneinwirkung auf. Die Fähigkeit zu polymerisieren tritt mehr oder weniger bei allen Molekülen mit Doppelbindungen auf, z. B. bei Kohlenwasserstoffen wie Äthylen, Propylen und Isopren. Auch Aldehyde, Ester und Lactame sind der Polymerisation zugänglich. Die Reaktion läuft meist nach folgendem Schema ab:

$$x \cdot H_2C = CH_2 \rightarrow -CH_2 \mid CH_2-CH_2 \mid CH_2- \qquad [18]$$

engl.: polymerisation
franz.: polymérisation

Polynom-Methode, ein Verfahren zur Lösung der *Boltzmann-Gleichung. [13]
engl.: polynominal method
franz.: méthode des polynômes
Lit.: B. Davison, Neutron Transport Theory, Clarendon Press, Oxford, 1957.

Polyphenyle, aromatische Kohlenwasserstoffe, in denen die Benzolringe nur mit einer Bindung verknüpft sind. Mit steigender Kettenlänge steigt sowohl der Schmelz- als auch der Siedepunkt an. Der Dampfdruck, der ab dem zweiten Glied dieser Reihe, dem Diphenyl, bei normaler Temperatur bereits sehr gering ist, nimmt entsprechend ab. Die strahlenchemische Zersetzung verringert sich mit steigender Kettenlänge. So finden wir für Diphenyl ein $G_{H2} = 0{,}008$, für p-Terphenyl ein $G_{H2} = 0{,}003$ und für p-Quaterphenyl ein $G_{H2} = 0{,}002$. Das G für Polymerisation liegt etwa um eine Größenordnung höher. P. besitzen gute Schmiereigenschaften, die gegen Oberflächenkorrosion sehr vorteilhaft sind. Bei 400 °C ist noch keine Verkohlung, sondern nur eine leichte Dunkelfärbung auf der Behälterwand festzustellen. P. werden als Moderatoren und Kühlmittel in Kernreaktoren eingesetzt (OMRE). Bei Strahlungsversuchen ist ein Zutritt von Luft zu vermeiden, da eine sehr schnelle Polymerisation der Substanzen eintritt.
Da die kritischen Daten der P. höher liegen als die von Wasser, könnte die Betriebstemperatur ebenfalls um 100 ° höher liegen, insbesondere, da das Stabilitätsgebiet bis zu 300 . . . 450 °C reicht. Nachteilig ist der schlechte Wärmeübergang im Verhältnis zu Wasser. Ein nicht restlos geklärtes Problem ist das der Strah-

lungsstabilität. Die P. zersetzen sich laufend, wenn auch langsam. Dem kann durch kontinuierliche Reinigung und Zugabe neuer Substanz entgegengewirkt werden. [18]
engl.: polyphenyl
franz.: polyphényle

POPOP. Gebräuchliche Abkürzung für 1,4-di[2-(5-Phenoxyloxazolyl)]-benzol.

Die Verbindung (in benzolischer Lösung) dient als Szintillator zur Messung von Gammastrahlen besonders in Großraumzählern wie dem „Los Alamos Human Counter". [3]
Lit.: Peaceful Uses of Atomic Energy, Bd. 14, S. 182, 188, Genf, 1955.

Porendiffusion, s. Gasdiffusion.
engl.: porous diffusion

Porenreaktor, Reaktor mit poröser Struktur, bei dem die Poren vom Kühlmittel oder flüssigem Spaltstoff durchströmt werden. [7]
engl.: porous reactor *franz.: réacteur poreux*

Portland-Zement, s. Zement.

Positron (auch Positives Elektron), leichtes Elementarteilchen mit derselben Ruhmasse und dem Betrag nach gleich großer Ladung wie das Elektron, jedoch positivem Ladungsvorzeichen.
Das P. wurde 1932 von Anderson in der kosmischen Strahlung aufgefunden. Spuren in der Nebelkammer zeigten Teilchen, welche dem Aussehen ihrer Spur und sonstigen Eigenschaften nach Elektronen waren, im Magnetfeld jedoch eine Ablenkung gerade im umgekehrten Sinn erfuhren als jene.
Später konnten P.n auch künstlich gewonnen werden, und zwar auf zwei Wegen:
1. Photonen von mehr als 1 MeV Energie, unter Umständen auch Elektronen genügend hoher Energie, erzeugen beim Auftreffen auf einen Atomkern (der hierbei nicht verändert wird) gleichzeitig ein Elektron und ein P. (s. Paarerzeugung).

2. Zahlreiche durch Kernumwandlung gewonnene künstlich radioaktive Stoffe (s. Radioaktivität) zerfallen unter Aussendung eines P.s (Positronenzerfall).

P.n zerstrahlen, sobald sie ihre Bewegungsenergie praktisch verloren haben und mit einem Elektron zusammentreffen, d. h. sie verschwinden unter Bildung von zwei Photonen zu je 0,511 μ MeV (s. Zerstrahlung und Positronium).

Eine konsequente gemeinsame Theorie der P.n und Elektronen hat D i r a c in seiner „Löchertheorie", einem Teil der generellen D i r a c schen Theorie des Elektrons, gegeben. [1]

engl.: positron

franz.: positron

Lit.: W. Riezler, Kernphysik, 6. Aufl., Oldenbourg, München, 1958.

Positronenzerfall, radioaktiver Zerfall eines Atomkerns unter Aussendung eines Positrons. Der durch den Zerfall entstehende Kern hat gleiche Massenzahl und eine um eine Einheit niedrigere Ordnungszahl als der Ausgangskern. Der P. kommt ausschließlich bei künstlich radioaktiven Kernen vor, und zwar bei solchen, welche im Vergleich mit der stabilen Zusammensetzung zu viele Protonen enthalten. Ein Proton des Kerns verwandelt sich dabei in ein Neutron. [1]

engl.: positron transformation

franz.: désintégration avec émission des positrons

Positronium, eine Kombination von einem Positron mit einem Elektron, die – im Bild des B o h r schen Atommodells – beide um den gemeinsamen Schwerpunkt, also um den Mittelpunkt ihrer Verbindungsgeraden, kreisen. P.-Atome (bekannt seit 1951) bilden sich, wenn man Positronen in ein Gas hineinschießt, wobei sie nicht sofort mit Elektronen zusammen zerstrahlen, sondern erst für eine kurze Zeitspanne P.-Atome bilden. Je nachdem dabei die Spins der beiden Teilchen entgegengesetzt oder gleich gerichtet sind, ist das P.-Atom in einem Singulett oder einem Triplettzustand. Im Singulettzustand zerstrahlt es schon nach 10^{-10} s in zwei Lichtquanten, im Triplettzustand dagegen erst nach 10^{-7} s in drei Lichtquanten. Mit Hilfe der Hochfrequenzspektroskopie konnten Hyperfein-

struktur und Zeemaneffekt der P.-Atome beobachtet werden. [1]
engl.: positronium
franz.: positronium
Lit.: Physic. Rev. 85, 489 und 1047 (1952).

Potential, nukleares, s. Kernpotential.

Potential, Yukawasches, s. Yukawa - Potential.

Potentialberg. Die Frage des Potentialverlaufs ist ein grundsätzliches Problem bei vielen physikalischen Aufgaben. Denn wenn das Potential bekannt ist, kennt man im Prinzip die Bewegung von Teilchen, Massenpunkten oder dgl. (sobald man nämlich die Integration der Bewegungsgleichung ausgeführt hat). Es besteht also die Aufgabe, den Potentialverlauf darzustellen. In der Kernphysik und einigen Stellen der Molekül- und Kristallphysik erhält diese Aufgabe einen besonderen Akzent, weil das Potential der *Kernkräfte uns nicht exakt bekannt ist bzw. bei seiner theoretischen Ableitung Schwierigkeiten auftreten, die durch die zentrale Bedeutung, die den Divergenzen in dieser Theorie zukommt, bedingt sind. Man ist daher darauf angewiesen, aus den Phänomenen den Verlauf zu erschließen. Dieser Sachlage verdankt eine Reihe von Begriffen, die durchweg die Konstruktion des Potentials an Hand der Beobachtungen ausdrücken, ihre Entstehung. Neben dem P. gehört dahin die Potentialschwelle, der Potentialwall, der Potentialtopf und die Potentialmulde. Es handelt sich dabei um charakteristische Potentialverläufe, die innerhalb bestimmter Disziplinen der Physik, durchweg solchen, die sich mit dem Aufbau der Materie beschäftigen, häufig vorkommen. Die Ausdrücke Potentialwall und -schwelle bezeichnen im wesentlichen den gleichen Verlauf wie der Ausdruck P. Sie sind in gleicher Weise gebräuchlich.

Die Abb. 1 stellt einen Potentialverlauf dar, wie er beim Durchgang eines Lichtstrahls durch drei Medien gelten kann. Unter (2) kann man sich eine Lamelle denken, die die Medien (1) und (3) trennt. Nach den Gesetzen der klassischen Physik kann der Lichtstrahl

Potentialberg in das Medium (2) nur dann eindringen, wenn die kinetische Energie T die Überwindung des P.s gestat-

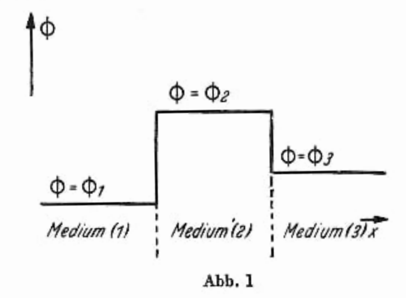


Abb. 1

tet, also im Fall der Abb. 1, wenn $T > \Phi_2$ ist. Ist $T < \Phi_2$, so findet Totalreflexion statt. In der Mikrophysik interessiert man sich nicht nur für die makroskopischen Vorgänge, sondern für das Verhalten in der Umgebung der Grenzflächen. Man findet dann, daß die Photonen des Lichtstrahls mit $T > \Phi_3$ mit einer gewissen exponential abnehmenden Wahrscheinlichkeit in den P. eindringen. Hat der P. endliche Dicke, so treten Photonen am Ende des Mediums (2) mit einer endlichen Wahrscheinlichkeit aus (*Tunneleffekt).

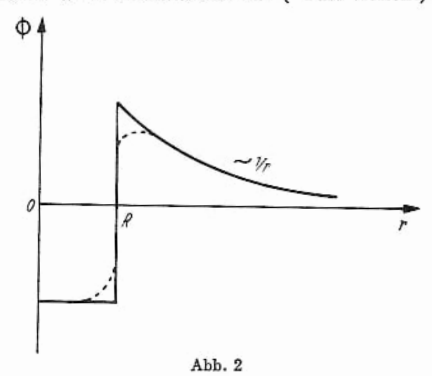


Abb. 2

Abb. 2 deutet den Potentialverlauf an, wie er für den α-Zerfall gilt: Für $r > R$ ist der Verlauf durch die elektrostatische Abstoßung der positiven Kernladung

bestimmt ($\Phi \sim 1/r$). R begrenzt die Reichweite der Kernkräfte ($R \approx 10^{-12}$ cm). Für $r < R$ wirken die Kernkräfte, und zwar derart, daß die abstoßende Wirkung des Coulombschen Potentials kompensiert und sogar eine Bindung herbeigeführt wird. Analog zu dem Problem der Abb. 1 können die α-Teilchen den P. mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit durchdringen, vorausgesetzt, daß ihr Energieniveau, in dem sie im Kern gebunden sind, grundsätzlich (bei den radioaktiven Kernen) oder wenigstens vorübergehend, z. B. als Folge eines Stoßes (bei Kernreaktionen), oberhalb $\Phi = 0$ liegt. Die Wahrscheinlichkeit bestimmt die mittlere Lebensdauer des radioaktiven Kerns bzw. des Zwischenkerns bei Kernreaktionen. S. a. Gamow-Theorie. [7]
engl.: potential wall, potential barrier
franz.: barrière de potentiel

Potentialschwelle, s. Potentialberg.

Potentialtheorie ist jener für die Physik wichtige Zweig der Mathematik, der die Eigenschaften der Potentialgleichung (Laplacesche Gleichung, Poissonsche Gleichung):

$$\Delta\varphi \equiv \frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2} = f(x, y, z)$$

untersucht und Lösungsmöglichkeiten für vorgegebene $f(x, y, z)$ angibt. Die Methoden, die zur Lösung von Problemen der P. angegeben wurden, haben eine über den Rahmen der P. hinausgehende Verwendung in vielen Bereichen der mathematischen Physik gefunden, z. B. in der Hydrodynamik, Gravitationstheorie, Wärmeleitung, Elektrostatik. [7]
engl.: potential theory
franz.: théorie des potentiels
Lit.: L. Boltzmann, Das mechanische Potential in Buchholz, Angew. Mathematik, Barth, Leipzig, 1916. – O. D. Kellog, Foundations of Potential Theory, Springer, Berlin, 1929.

Potentialtopf. Der P. ist jener radiale Potentialverlauf, der der Bindung der Nukleonen im Atomkern näherungsweise zu beschreiben gestattet (s. Abb. 1 und 2).
Den Rechnungen der Kernphysik wird oft ein möglichst

einfacher P. zugrunde gelegt: der rechteckige P. Für ihn ist

$$\Phi = -\Phi_0 \text{ für } r \leqq R, \quad \Phi = 0 \text{ für } r > R$$

(Abb. 1). Er wird im Gegensatz zum *Parabelpotential

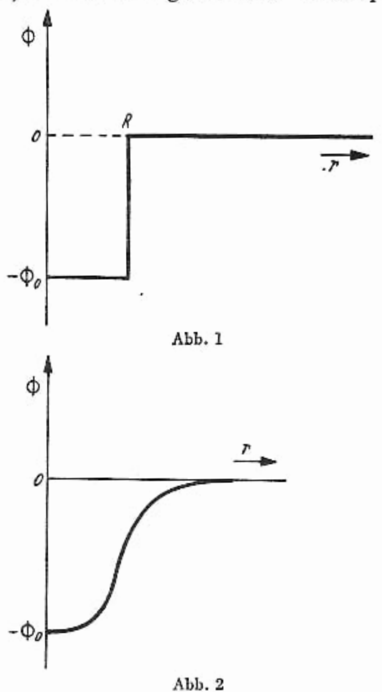


Abb. 1

Abb. 2

in erster Linie für mittelschwere und schwere Kerne benutzt, insbes. beim Schalenmodell der Kerne. Ein weniger schematischer P. wird durch eine Gauß-Funktion dargestellt: $\Phi = -\Phi_0 \cdot e^{-\alpha r^2}$ (Abb. 2). Auch Exponential- und verwandte Funktionen werden zur Darstellung eines P.s benützt.

S. a. Kernpotential, Potentialberg, Yukawa-Potential. [7]

engl.: square well potential franz.: puits de potentiel

Potentialwall, s. Potentialberg.

ppm = parts per million = 10^{-4} %. [7]

Prandtl-Zahl (Pr), ist das dimensionslose Verhältnis $Pr = \nu/a$ von zwei Stoffwerten, nämlich der kinematischen Zähigkeit ν und der Temperaturleitfähigkeit a. Die P.-Z. tritt in den Wärmeübergangsgleichungen der freien und erzwungenen *Konvektion auf. [5]
engl.: Prandtl-No.
franz.: nombre de Prandtl

Präparat, geschlossenes (radioaktives). Die radioaktive Substanz ist allseitig von einer festen und dichten Hülle umschlossen, aus der keine radioaktive Substanz austreten kann, so daß Kontamination (Verseuchung) oder Inkorporation ausgeschlossen ist. [16]
engl.: sealed source
franz.: préparation sous enceinte étanche,
source scellée

Präparat, offenes (radioaktives), ist nicht wie das geschlossene allseitig von einer dichten Hülle umschlossen, die ein Austreten von radioaktiver Substanz verhindern könnte. Offene Präparate erfordern deshalb sorgfältige Beachtung der für die Isotopentechnik typischen Arbeitsmethoden und Sicherheitsvorkehrungen. Insbesondere dürfen offene Präparate nur in geschlossenen Behältnissen oder unter einem Abzug gehandhabt werden.
Im allgemeinen darf mit offenen Präparaten, bei denen das Produkt aus ihrer Aktivität und Halbwertszeit über 10 mcd liegt, nur in Laboratorien gearbeitet werden, die für radioaktives Arbeiten eingerichtet sind und in denen keine anderen Arbeiten ausgeführt werden. S. a. Millicurie-Tag. [16]
engl.: unsealed radioactive material
franz.: préparation en récipient ouvert,
préparation à l'air libre, source non-scellée

PRDC, s. Enrico Fermi-Reaktor.

Preßguß, s. Druckguß.

Preßling. Bezeichnung für ein gepreßtes Vorprodukt, Halbzeug oder Fertigprodukt. In der *Pulvermetallurgie versteht man unter einem P. ein durch

*Kaltpressen aus Metallpulver hergestelltes Werkstück, das anschließend der *Sinterung unterzogen wird. [4]
engl.: compact *franz.: compact*

Preßwasserreaktor, nicht empfehlenswertes Synoym für *Druckwasserreaktor.

Prezipitation bezeichnet die Fällung chemischer Substanzen aus Lösungen als unlösliche Salze. [22]
engl.: precipitation
franz.: précipitation

Primärkreislauf, s. Kühlmittelkreisläufe.
engl.: primary circuit *franz.: circuit primaire*

Primärlösung, wäßrige. Sowohl ausgebrannte Kernbrennstoffe als auch Konvertermaterial werden nach einer gewissen Zeit aus den Reaktoren entfernt und zum Zwecke der Wiederaufbereitung bzw. der Separation in Säuren oder Basen aufgelöst, die entstehende wäßrige (saure oder basische) Lösung nennt man P. Auch die Bezeichnung Mutterlösung wird häufig angewandt. [22]
engl.: feed
franz.: solution primaire, liqueur primitive, eaux-mères

Probenwechsler. Mechanische Vorrichtung, die eine mehr oder weniger große Anzahl von radioaktiven Präparaten zur Messung an eine Meßvorrichtung automatisch heranführt und nach Beendigung und Registrierung wieder entfernt. Erspart weitgehend das manuelle Hantieren mit radioaktiven Präparaten. [6]
engl.: probe changer, probe exchanger
franz.: changeur de préparation

Produktionsstrom, s. Kaskade.
engl.: production current
franz.: courant de production

Produktivität, die Differenz zwischen Neutronenproduktion und Neutronenverlust pro Einheit der Flußzeit (Zeitintegral des Flusses) zur Zeit t:

$$\pi(t) = \frac{\int \mathrm{d}V [\nu \Sigma_f(\mathfrak{r},t) - \Sigma_a(\mathfrak{r},t)] \Phi(\mathfrak{r},t) - \Lambda(\Phi(\mathfrak{r},t))}{\int \mathrm{d}V \Phi(\mathfrak{r},t)}$$

Dabei bedeuten Σ_a bzw. Σ_f den makroskopischen Absorptions- bzw. Spaltquerschnitt, summiert über alle

Stoffe im Reaktor; ν Zahl der Spaltneutronen pro Spaltung; Φ Neutronenfluß; $\Lambda(\mathfrak{r}, t)$ Anzahl der bei der Flußverteilung $\Phi(\mathfrak{r}, t)$ sekundlich aus dem Reaktor entweichenden Neutronen.
Wenn die Wirkungsquerschnitte energieabhängig sind (z. B. beim thermischen Reaktor), muß dieser Ausdruck auf zwei oder mehr Energiegruppen erweitert werden.
Die Größe $\pi(t)$ spielt bei Untersuchung des Reaktivitätsverlaufes im Reaktor eine Rolle. Wenn $\pi = 0$ ist, ist der Reaktor gerade kritisch. [12]
engl.: productivity
franz.: productivité

Programmsteuerung, automatische Verknüpfung einer größeren Zahl von Steuerungen zur Lösung komplizierter Steueraufgaben. Grundsätzlich kann man unterscheiden zwischen a) Parallelsteuerungen, b) Seriensteuerungen, c) gemischten Programmsteuerungen. Bei a) wird eine größere Zahl sonst unabhängiger Steuerungen praktisch gleichzeitig ausgeführt, bei b) muß dagegen eine genau vorgeschriebene Reihenfolge der einzelnen Steuerungen eingehalten werden, c) stellt den allgemeinsten Fall dar.
Typische Beispiele für a) sind: Parallelsteuerungen der Trimm- bzw. Trimmabschaltstäbe, der Kühl- und Luftkreisläufe, Spaltproduktnachweisanlagen und dgl. Fall b) liegt dagegen vor, wenn z. B. die Kühlanlagen oder Schnellabschalteinrichtungen automatisch umgeschaltet werden, nachdem der vorhergehende Steuerbefehl an andere Steuerorgane ohne Erfolg war. Die Serienschaltungen sind daher zumeist mit Vollzugsmeldungen verknüpft und stellen insofern eine Zwischenstufe zwischen einer reinen P. und einer echten Regelung dar. Ein typisches Beispiel dafür ist die *Trimmnachfolgesteuerung. [9]
engl.: control program
franz.: programme (de régulation)

Promethium, neu eingeführter Name für das künstlich erzeugte Element mit der Ordnungszahl 61 (chemisches Symbol Pm). Von ihm sind 9 Isotope mit Massenzahlen zwischen 143 und 156 bekannt, die mit Ausnahme des leichtesten, das ein K-Strahler ist, alle

β^- und γ-Strahlen emittieren. Die in der Isotopentechnik am häufigsten benutzten Isotope sind das Pm 147 und Pm 149. Beide werden durch Bestrahlung von Neodym mit langsamen Neutronen gewonnen. Hierbei entsteht zunächst ein radioaktives kurzlebiges Nd-Isotop, das durch β-Umwandlung in das entsprechende Pm-Isotop übergeht.

Erzeugungsreaktionen:

$$\text{Nd 146(n,}\gamma\text{) Nd 147} \xrightarrow[\beta^-]{11{,}3\text{ d}} \text{Pm 147}$$

$$\text{Nd 148(n,}\gamma\text{) Nd 149} \xrightarrow[\beta^-]{1{,}8\text{ h}} \text{Pm 149}$$

Strahlung:

Pm 147: β^- 0,223 MeV, Halbwertszeit 2,6 a
Pm 149: β^- 1,05 MeV, Halbwertszeit 50 h
γ 0,285 MeV

Pm 147 wird hauptsächlich als Strahlungsquelle zur Messung von Schicht- und Foliendicken im Bereich von 1–20 mg/cm^2 nach Absorptions- und Reflexionsverfahren benutzt.

Das langlebigste Pm-Isotop ist Pm-145 mit 30 a Halbwertszeit.

Seine erste Darstellung erfolgte aus den Uranspaltprodukten im Jahre 1945 durch C. D. Coryell, J. A. Marinsky und L. E. Glendenin. Das Isotop Pm 147 ist in wägbaren Mengen isoliert worden und bildet rosa gefärbte Salze. [1, 3, 16]

engl.: promethium *franz.: prométhium*

prompter Sprung, prompter Anstieg, s. Reaktorkinetik.

engl.: prompt jump

franz.: saute, à-coup (de réactivité)

prompt-kritisch heißt ein Reaktor, wenn er allein mit prompten Neutronen kritisch ist. In diesem Fall ist $k = 1{,}0064$. Ein solcher Reaktor und mehr noch einer, der prompt-überkritisch ist ($k > 1{,}0064$), ist sehr schwer zu regeln, weil der Neutronenfluß ungeheuer schnell gemäß $e^{-(k-1)t/l}$ ansteigt. l ist die *Generationsdauer der prompten Neutronen ($10^{-3} \ldots 10^{-4}$ s), t die Zeit. Bei einem

prompt-unterkritischen (oder verzögert-überkritischen) Reaktor ($1{,}0064 > k > 1$) dagegen ist der Anstieg des Neutronenflusses mit der Zeit durch die Generationsdauer der verzögerten Neutronen gegeben, die wesentlich größer ist. S. a. Reaktorperiode. Die für die Reaktorregelung wichtigen Bereiche des k mit ihrer Benennung zeigt nachstehende Übersicht:

prompt-überkritisch	$k > 1{,}0064$
prompt-kritisch	$k > 1{,}0064$
prompt-unterkritisch oder verzögert-überkritisch	$1{,}0064 > k > 1$
verzögert-kritisch oder kritisch	$k = 1$
unterkritisch	$k < 1$

[7]
engl.: prompt critical
franz.: immédiatement critique

Proportionalzähler, im Gegensatz zum Auslösezähler ein Zähler für Korpuskeln, der für die einzelnen Teilchen Stromstöße proportional zu ihrer Ionisation gibt und so aus der Stärke der einzelnen Stromstöße Anhaltspunkte über die Art der Teilchen liefert. Insbesondere können mit ihm α-Teilchen wegen ihrer gegenüber β-Teilchen sehr viel stärkeren Ionisation allein gezählt werden, ohne daß die Zählung durch gleichzeitig anwesende β-Teilchen gestört wird. S. a. Spitzenzähler und Zählrohr.
Die Zahl der Entladungen, die in einem Zählrohr vor sich gehen können, ohne daß seine Zähleigenschaften wesentlich geändert werden, hängt fast ausschließlich von der Art der Gasfüllung ab. Zähler mit reiner Gas- oder Edelgasfüllung haben im allgemeinen eine große Lebensdauer. Fügt man mehratomige Gase oder Dämpfe zu, so tritt für jeden Impuls eine Zerstörung durch Dissoziation ein. Die Zahl der ohne wesentliche Änderung der Zählrohreigenschaften möglichen Entladungen ist daher begrenzt. Im Minimum beträgt die Zahl bei räumlich kleinen Zählern etwa 10^6 Impulse und steigt bei größeren Zählrohren auf Werte über 10^{12} an. [1, 6]
engl.: proportional counter
franz.: compteur proportionnel

Protaktinium, natürlich radioaktives Element der Ordnungszahl 91 (chemisches Symbol Pa). Sein wichtigstes Isotop ist das in der Aktinium-Zerfallsreihe vorkommende $^{231}_{91}Pa$ mit 23 000 Jahren Halbwertszeit, das α-Strahlen aussendet. Außerdem gibt es in der Uran-Radium-Zerfallsreihe noch das „Uran X 2" und das „Uran Z", welche zwei kernisomere (s. Kernisomerie) Isotope des P.s mit der Massenzahl 234 sind; beide sind β-radioaktiv. Schließlich sind künstlich noch acht weitere, ziemlich kurzlebige Isotope des P.s erzeugt worden. Pa-233 ist das Mutterelement des Urans-233

$$Th^{232} \xrightarrow{(n,\gamma)} Th^{233} \xrightarrow[23{,}5\ \text{min}]{\beta} Pa^{233} \xrightarrow[27{,}4\ \text{d}]{\beta} U^{233}\,.$$

Für die Brennstoffaufbereitung ist wichtig, daß P. mit Mangandioxyd als Träger bis zu 95 % ausgefällt werden kann, gleichzeitig mit diesem werden jedoch auch die Spaltprodukte Zirkon, Niob und Ruthenium aus einer „Thorium-Brutlösung" ausgefällt. Das macht eine gesonderte Aufbereitung des nach dem Zerfall von Pa-233 entstandenen U^{233} notwendig. [1, 22]
engl.: protoactinium
franz.: protoactinium

Proton, das positiv geladene schwere Elementarteilchen, das den Kern des Wasserstoffatoms bildet und zusammen mit dem Neutron Baustein aller Atomkerne ist. Seine Ruhmasse beträgt 1,00759 Kernmasseneinheiten oder $1{,}6724 \cdot 10^{-24}$ g. Seine Ladung ist eine positive Elementarladung. Sein Spin ist $^1/_2$, wie der des Neutrons und des Elektrons; sein magnetisches Moment beträgt 2,7927 Kernmagnetonen.

Im Gegensatz zu freien Neutronen sind freie P.n sehr leicht zu erhalten, indem man Wasserstoffatomen ihr einziges Elektron wegionisiert, wozu nur die Ionisierungsenergie von 13,5 eV erforderlich ist. – Neuestens ist auch ein negatives Proton, das Antiproton, entdeckt worden. [1]
engl.: proton
franz.: proton

Lit.: W. Finkelnburg, Atomphysik, 5./6. Aufl., Springer, Berlin, 1958.

Protonenstrahlen, Ionenstrahlen aus Protonen; sie spielen neben den Deuteronenstrahlen und den α-Strahlen insbesondere bei sehr hohen Energien eine große Rolle als Ionenstrahlen, deren Teilchen reine Kerne sind.

Protonenstrahlen

P. werden meist als Kanalstrahlen in einer reinen Wasserstoffatmosphäre oder in einer Bogenentladung mit folgender Nachbeschleunigung im Hochvakuum erzeugt. Erfolgt die Nachbeschleunigung mittels einer konstanten Gleichspannung, so kommt man maximal auf eine Energie von einigen MeV. Die höchste Energie der P. wird mit dem Protonen-*Synchrotron (*Phasotron) erreicht, augenblicklich etwa 10 000 MeV.

Die Beziehung zwischen Geschwindigkeit und Energie der P. wird durch folgende Tabelle wiedergegeben:

Energie [MeV]	Geschwindigkeit [km s^{-1}]	Reichweite in Luft [cm]
0,01	1 400	0,03
0,1	4 400	0,16
1	13 900	2,3
10	43 800	110
10 000	299 000	viele km

Infolge der nur einfachen Ladung ist die spezifische Ionisation der P. viermal geringer als diejenige von α-Strahlen gleicher Geschwindigkeit. Erst recht ist auf gleiche Energie bezogen die spezifische Ionisation und damit der Energieverlust je cm Weg bei den P. geringer als bei den α-Strahlen, und entsprechend ihre Reichweite größer. In der obigen Tabelle ist für die angegebenen Energien auch die Reichweite der P. in Luft unter Normalbedingungen eingetragen (s. a. Energie-Reichweite-Beziehung).

In der Nebelkammer und in der lichtempfindlichen Schicht einer Platte (s. Photoschichtspuren) ergeben die P. relativ zu Elektronen starke Bahnspuren, wenn die Protonenenergie $\lesssim$ 500 MeV.

engl.: proton rays

franz.: rayonnement de protons

Lit.: W. Riezler, Kernphysik, 6. Aufl., Oldenbourg, München, 1958.

Protrahierung

Protrahierung, kontinuierliche Bestrahlung mit relativ kleiner *Dosisleistung über einen längeren Zeitraum, s. Dosisprotrahierung. [17]
engl.: protraction *franz.: irradiation prolongée*

Prozeß-25-Hexon ist ein *Kernbrennstoffaufbereitungsprozeß für angereichertes Uran ($25 = {}^{235}_{92}U$) unter Verwendung von Hexon als Extraktionsmittel. Die chemische *Auflösung der Brennstoffelemente erfolgt bei Al-eingehüllten oder legierten Brennstoffelementen in Salpetersäure oder Natronlauge, bei Edelstahl-eingehüllten oder legierten in Schwefelsäure oder Königswasser, bei Zirkon eingehüllten oder legierten in wäßriger Flußsäure.
Der Kernbrennstoff wird aus salpetersaurer Lösung mit Hexon extrahiert. Der Extraktionsprozeß entspricht in seinen wesentlichen Punkten dem *Redox-Prozeß. Er unterscheidet sich von diesem dadurch, daß eine Plutoniumseparation in den meisten Fällen nicht durchgeführt wird, da im angereichertem Brennstoff die Plutonium-Bildung praktisch zu vernachlässigen ist. Es ist üblich, angereichertes, bestrahltes Uran vor der chemischen Aufbereitung mindestens 100 Tage zu lagern, um die Radioaktivität kurzlebiger Spaltprodukte und Uranisotope genügend abklingen zu lassen. Bei den Uranisotopen ist es vor allen Dingen das Uran-237, das den Radioaktivitätspegel bereits entgifteter Brennstoffe so hoch hält, daß man sie nur fernbedient behandeln kann. Da man das Uran-237 durch chemische Methoden vom übrigen Uran nicht separieren kann, ist eine Lagerung der Kernbrennstoffe vor der Aufbereitung unbedingt notwendig.

$$^{235}U\,(n,\gamma)\,^{236}U\,(n,\gamma)\,^{237}U \xrightarrow[6{,}75\ d]{\beta} {}^{237}Np\,.$$

Es ist besonders angebracht, Lanthan-140 abklingen zu lassen, da es mit seiner 2,1 MeV-γ-Strahlung die Betonabschirmung der Prozeßzellen, die in den meisten Fällen nur für eine Strahlung von 1,2 MeV ausgelegt ist, durchdringt und das Bedienungspersonal unnötig gefährdet. Gesamtentgiftungsfaktoren von mindestens 10^8 müssen bei angereichertem Uran gefordert werden, damit man das entgiftete Uran anschließend zu Metall

und Brennstoffelementen ohne Fernbedienung verarbeiten kann. [22]
engl.: process 25 hexon *franz.: procédé-25-hexon*
Lit.: s. Hexon.

Prozeß-25-TBP stellt wie der Prozeß-25-Hexon ein *Brennstoffaufbereitungsverfahren für angereichertes Uran (= 25 = $_{92}U^{235}$) dar. Er unterscheidet sich vom *Purex-Prozeß dadurch, daß beim P.-25-TBP im Gegensatz zum Purex-Prozeß eine Separation von Plutonium vom Uran nicht durchgeführt wird. Er wird daher in solchen Fällen verwendet, in denen nur geringe Mengen Plutonium während der Installation im Reaktor gebildet wurden. [22]
engl.: process-25-TBP *franz.: procédé-25-TBP*

Prozeßanlagen zur Aufbereitung von ausgebrannten Kernbrennstoffen und neutronenbestrahlten Konverterstoffen (Thorium) beinhalten eine sehr große Anzahl von speziellen Abteilungen, Laboratorien, sowie Hilfs- und Nebenanlagen. Man unterscheidet prinzipiell zwischen Arbeiten mit „heißen" und „kalten" Stoffen, dementsprechend zwischen „heißen" und „kalten" Arbeitszonen. Die kalte Arbeitszone kann man von der heißen Zone aus nur nach Passieren einer Personenschutzschleuse erreichen und umgekehrt, in der das Personal auf evtl. mitgeführte Radioaktivität hin untersucht wird. Hier wird auch eine gründliche Körperreinigung mittels Spezialreinigungsmittel vorgenommen und die Arbeitskleidung gewechselt. Die Arbeitskleidung verbleibt in der heißen Zone und wird dort gewaschen und evtl. entseucht.
In den P. befinden sich sehr ausgedehnte Forschungsinstitute mit Abteilungen für präparative „warme" bis „heiße" Radiochemie, in der die einzelnen Prozeßstufen eingehend im Labormaßstab erprobt und erforscht werden. Es befinden sich ferner Abteilungen für analytische Radiochemie, in denen die notwendigen analytischen Methoden für die Unterhaltung und Überwachung der ferngesteuerten Aufbereitungsprozesse ausgearbeitet werden, Abteilungen für heiße, radiochemische Verfahrenstechnik sowie Abteilungen für die Aufbereitung gasförmiger, flüssiger und fester radioaktiver Abfälle. Einen besonders großen Raum neh-

men stets die Sicherheits- und Gesundheitsabteilungen ein. In den P. selbst findet man u. a. ausgedehnte Lager für heiße Brennstoffelemente mit besonderen Kühlvorrichtungen sowie Reinigungsvorrichtungen für diese Kühlwässer. Zellen für die mechanische und chemische Entfernung von Brennstoffelementeinhüllungen, sowie Zellen für die chemische Auflösung der verschiedenen Brennstoffelemente. Man unterscheidet hierbei gesonderte Zellen für die *Auflösung von reinem Uran, Uran-Aluminium-Legierungen, Uran-Edelstahllegierungen, sowie Uran-Zirkonlegierungen. Sehr umfangreich sind die Extraktionskolonnen der verschiedenartigen *Extraktionsprozesse mit ihren Filter- und Zentrifugenanlagen, Apparaturen zur Extraktionsmittelrückgewinnung *(engl.: solvent recovery)*. Besonders großen Raum nehmen die Kanäle zur Entlüftung der P., sowie die Anlagen zur Entseuchung der Reaktionsgase und der *Abgase der Produktionszellen ein. Die Behandlung, Aufbereitung und Lagerung hochradioaktiver Abfälle bzw. Abfallösungen wird in gesonderten Entaktivierungsanlagen vorgenommen. Hier findet man Ionenaustauscheranlagen, Fällungsbehälter, gekapselte Zellenfilter, mehrstufige Destillationskolonnen, Verbrennungsanlagen, Zementeinrührer, sowie Entseuchungszellen für Prozeßapparaturen usw. Einen besonders großen Raum nehmen die metallurgischen P. ein. Pyrometallurgische sowie Halogen-Hochtemperatur-Volatilitätsverfahren erfordern besondere Spezialanlagen und Vorkehrungen.

In direktgewarteten P. (*engl. direct maintenance*) werden sämtliche Reparaturen, die Entfernung und Erneuerung von Prozeßbehältern, Apparaturen usw. erst nach vorhergegangener, vollständiger Entaktivierung der P. durch direkten Zugang in die heiße Prozeßzone von Hand aus durchgeführt. Dieses hat besondere Entaktivierungsmethoden und besonders einfach konstruierte Prozeßapparaturen zur Voraussetzung. Die Rohrleitungen, Ventile usw. müssen so verlegt werden, daß man sie spülen und entwässern kann. Die Rohrleitungsverbindungen und die Anschlüsse der Leitungen an das Behältermaterial werden mittels einwandfreier, fugenloser Verschweißung vorgenommen.

Flanschverschlüsse sollen nach Möglichkeit vermieden werden. Sehr bewährt hat sich die doppelte Ausführung sämtlicher wichtigen Leitungen, Pumpen usw., die im Bedarfs- oder Störungsfall sofort als Reserveaggregate eingeschaltet werden können.

Alle Teile der P. müssen für den Operateur leicht zugänglich sein, so empfiehlt sich die Anbringung von Bedienungspulten, Leitern usw. innerhalb der Prozeß-Zellen, sowie von Anschlüssen für Schweißapparate. Bei einer übersichtlichen Anordnung aller Leitungen, Ventile und Apparaturen ist es weniger schwierig, die Stellen der höchsten radioaktiven Verseuchung ausfindig zu machen. Um unnötige Verseuchung der Behälter zu ersparen, soll man nach Möglichkeit die einzelnen Prozeßapparaturen in getrennten, strahlengeschützten Zellen unterbringen, damit die Entseuchung des Zelleninhaltes sich auf sehr wenige Teile beschränken kann. Das Innere der Zellen muß nach besonderen Gesichtspunkten ausgebildet sein. Die Zellenwände werden mit Edelstahlblech, nahtlos verschweißt, ausgekleidet, ihr Boden ist als Wanne ausgebildet. Die Zelle kann automatisch mit Entseuchungsmitteln abgespült werden. Die Überwachung und Bedienung der P. während des Betriebes erfolgt auch bei direkt gewarteten Anlagen mittels Fernbedienung teils vollautomatisch, teils handbedient.

In indirektgewarteten P. (*engl. remote maintenance*) werden die Prozeßapparaturen usw. fernbedient und ausgewechselt, ohne daß die Zellen und ihr Inhalt entseucht zu werden braucht. Dieses bringt zwar einen ungeheuren Aufwand an technischen Sondereinrichtungen mit sich, hat aber den großen Vorteil, daß die langwierige, kostspielige und oft undurchführbare Entseuchung der Zellen nicht unnötig durch eine Strahlengefahr erschwert wird. Die Rohrleitungen werden miteinander und an die Apparaturen mittels fernbedienter Spezial-Bajonettverschlüsse verbunden und angeschlossen. Diese sind in ihrer Größe normiert und können mit Einheits-Manipulatoren und Arbeitskränen fernbedient montiert werden. Sämtliche Versuche werden bis in die letzte Einzelheit in nicht-heißen Scheinversuchen, sogenannten „Mock-up-Versuchen“, auf ihre

Zuverlässigkeit hin untersucht, die fernbediente, völlige Demontage der jeweiligen Prozeßanordnungen wird vor der Inbetriebnahme der Anlage am Phantom erprobt. Unglücksfälle in P. mit indirekter Wartung sind leichter zu beheben als bei P. mit direkter Wartung, die nach Unfällen oft aufgegeben werden müssen. [22]
engl.: process facilities
franz.: installations de traitement
Lit.: Reactor Handbook, Vol. VI, McGraw-Hill, New York, 1955. – Symposium on the Reprocessing of Irradiated Fuels, Brüssel, Mai 1957, TID 7534.

Prüfreaktor heißt ein Reaktor mit besonders hohem Neutronenfluß. Mit ihm soll die Materialbeständigkeit gegen die im Reaktor herrschende Strahlung bestimmt werden. Diese wird bei einer Flußzeit von $\Phi t \approx 10^{21}\,\text{cm}^{-2}$ besonders unsicher, weil dann die Zahl $\Phi t\, \Sigma$ der durch Neutronen veränderten Atome im Kristallgitter einen nennbaren Prozentsatz der überhaupt vorhandenen Atome darstellt (Σ makroskopischer *Wirkungsquerschnitt). Wenn man sich eine Bestrahlungsdauer von einem Jahr ($= 3{,}15 \cdot 10^7$ s) leisten kann, müßte der Reaktor mindestens einen Fluß von $3{,}1 \cdot 10^{13}\,\text{cm}^{-2}\,\text{s}^{-1}$ haben. Die Reaktoren mit höchstem Fluß sind z. Z. der ETR und *MTR (materials testing reactor) mit einem maximalen Φ von 10^{14} Neutronen $\text{cm}^{-2}\,\text{s}^{-1}$, s. Reaktortabelle im Anhang. [7]
engl.: (materials) testing reactor
franz.: réacteur d'essai des matériaux

psi = pounds per square inch (engl. Druckmaß). Umrechnung auf Dezimalsystem s. Tabellen im Anhang. [7]

psia = pounds per square inch absolute, s. psi.

Puffertank, Tank im primären Kühlkreislauf eines homogenen Reaktors. Er enthält Reservekühlflüssigkeit und ein Luftvolumen, durch das die Wärmeausdehnung der Kühlflüssigkeit abgefangen wird. [19]
engl.: surge tank

Pulvermetallurgie. Das Ziel der P. ist die Herstellung von festen Metallkörpern aus Pulver von Metallen, Metalloxyden oder Metallverbindungen durch Druck und Wärme, ohne sie zu schmelzen. Zunächst wird unter Druck ein *Preßling von der Form des ge-

wünschten Metallkörpers hergestellt. Die anschließende Wärmebehandlung (*Sinterung) findet bei Temperaturen unterhalb des Schmelzpunktes des betreffenden Metallpulvers oder des am höchsten schmelzenden Bestandteiles des Pulvergemisches statt. Der Preßling wird bei Raumtemperatur hergestellt; nur in seltenen Fällen werden höhere Preßtemperaturen verwendet (*Heißpressen). Andere Bezeichnungen für P. sind Metallkeramik und Sintermetallurgie. [4]

engl.: powder metallurgy

franz.: métallurgie des poudres

Lit.: F. Kieffer u. P. Schwarzkopf, Hartstoffe und Hartmetalle, Springer, Wien, 1953. – F. Skaupy, Metallkeramik, 4. Aufl., Verlag Chemie, Weinheim, 1950.

Pumpen, elektromagnetische, Pumpen für Flüssigkeiten hoher elektrischer Leitfähigkeit (flüssige Metalle), bei welchen die zu fördernde Flüssigkeit zum Teil eines Stromkreises mit einem Feld wird, das dem Rotorfeld eines Elektromotors entspricht. Die vielfältigen jetzt schon bekannten Konstruktionen lassen sich in „Leiter"-Pumpen und „Wanderfeld"-Pumpen einteilen. Die erste Gruppe ist für Gleichstrom geeignet. In der Ebene senkrecht zur Förderrichtung kreuzen sich in der Flüssigkeit ein magnetischer Kraftfluß und ein elektrischer Strom. Die Einwirkung des Erregerfeldes auf das Magnetfeld des Stroms erzeugt die Druckerhöhung. Bei der zweiten Gruppe wird durch mehrphasige Wicklungen (analog zum Induktionsmotor) ein Magnetfeld erzeugt, welches die Flüssigkeit durchsetzt und in Förderrichtung wandert. Die Differenz zwischen Strömungs- und Feldgeschwindigkeit (Schlupf) induziert einen Strom, dessen Kraftfeld die Schubkraft liefert. Der Strömungsquerschnitt in der Pumpe hat entweder die Form eines Kreisringes oder eines schmalen Rechteckes. [8]

engl.: electromagnetic pumps

franz.: pompes électromagnétiques

Lit.: D. A. Watt, Elektromagnetic Pumps for Liquid Metals, „Engineering" 264 (1956). – H. H. Agena, Elektromagnetische Pumpen für flüssige Metalle, Atomkernenergie 7, 249 (1958).

Pumpen, magnetisches, s. Nachtrag.

Pumpleistung. Die Antriebsleistung der Pumpen

und *Gebläse ergibt sich bei geringer Kompressibilität des geförderten Mediums als Produkt von Fördervolumen, Druckerhöhung (Förderhöhe) und dem Reziprokwert des Pumpenwirkungsgrades. Die den Pumpen zugeführte Energie wird größtenteils als Flüssigkeitswärme wiedergewonnen. [8]

engl.: pumping power

franz.: puissance de pompage

Purex-Prozeß ist ein *Brennstoffaufbereitungsprozeß zur Extraktion von Uran und Plutonium aus wäßriger Phase, Trennung von Uran und Plutonium voneinander und von den Spaltprodukten. Dieser Prozeß ist dem *Redox-Prozeß sehr ähnlich, er arbeitet jedoch mit TBP (Tributylphosphat) als Extraktionslösung und ist wegen der höheren Entzündungstemperatur und des niedrigeren Dampfdruckes des Tributylphosphates betrieblich sicherer. An Stelle von Aluminiumnitrat wird Salpetersäure als Salzagens verwendet. HNO_3 kann aus den radioaktiven Abfall-Lösungen leicht abgedampft und dem Prozeß wiederzugeführt werden. Dieses verringert sowohl die Abfallvolumina und damit die Lagerkosten, als auch die Kosten für das Salzagens. Tributylphosphat ist ein gutes Extraktionsmittel für Uranylnitrat, es bildet mit diesem eine Komplexverbindung:

$$UO_2^{+2}(aq) + 2\,NO_3^-(aq) + 2\,TBP(org) \rightarrow$$
$$\rightarrow UO_2(NO_3)_2 \cdot 2\,TBP\,(org). \qquad (1)$$

Der Verteilungskoeffizient V_u von Uranylnitrat in TBP und in der wäßrigen Phase wird durch folgende Beziehung wiedergegeben:

$$V_u = K_U \cdot (NO_3^-[aq])^2 \cdot (TBP\,[org])^2\,, \qquad (2)$$

wobei K_U die Gleichgewichtskonstante der Reaktion (1) darstellt.

Plutonium ist ebenfalls in der vierwertigen Valenzform von TBP aus der wäßrigen Phase extrahierbar, es gilt eine der Gl. (2) ähnliche Beziehung:

$$V_{Pu} = K_{Pu} \cdot (NO_3^-\,[aq])^4 \cdot (TBP\,[org])^2\,. \qquad (3)$$

In Gleichungen (2) und (3) bedeuten (TBP [org]) die Konzentrationen an TBP, die nicht in der komplexen Form vorliegen, also die Überschuß-TBP-Konzentration.

Plutonium wird aus der sechswertigen Form mittels salpetriger Säure HNO_2 in die durch TBP extrahierbare vierwertige Valenzform übergeführt:

$$PuO_2^{++} + NO_2^- + 2\,H^+ \rightarrow Pu^{4+} + NO_3^- + H_2O\,. \quad (4)$$

Will man das Plutonium aus der TBP-Phase zurückextrahieren, so wird es mittels Reduktion in die nicht extrahierbare dreiwertige Form übergeführt:

$$Pu^{4+} + Fe^{2+} + (SO_3NH_2)^- \rightarrow Pu^{3+} + Fe^{3+} + (SO_3NH^{2-})\,. \quad (5)$$

Man kann jedoch das Nitrit-Ion auch als Oxydationsmittel benutzen:

$$6\,Pu^{3+} + 2\,NO_2^- + 8\,H^+ \rightarrow 6\,Pu^{4+} + N_2 + 4\,H_2O\,. \quad (6)$$

Für den ersten Purex-Extraktionszyklus sind mindestens drei Extraktionskolonnen notwendig. Bewährt haben sich zu diesem Zweck pulsierende Kolonnen.

1. Kolonne: Extraktion von U(VI) und Pu(IV) mittels einer Lösung von TBP in Kerosin, Auswaschung der Spaltprodukte im Gegenstrom zur organischen Extraktionsphase mittels HNO_3.

2. Kolonne: Reduktion des Pu(IV) mittels NO_2^- zu Pu(III), dieses wird in die anorganische, wäßrige Phase aus der organischen TBP-Phase übergeführt.

3. Kolonne: Das U(VI) wird aus der TBP-Phase mittels Wasser ausgewaschen (Rückwäsche).

Sowohl das separierte Pu als auch das U werden in nachfolgenden Reinigungszyklen nachbehandelt und sowohl von den Spaltprodukten als auch voneinander weiter befreit. Die weiteren Reinigungszyklen arbeiten nach demselben Prinzip wie der oben beschriebene erste Reinigungszyklus. [22]

engl.: purex process *franz.: procédé purex*

Lit.: E. R. Irish u. H. W. Reas, The Purex Process, a Solvent Extraction Reprocessing Method for Irradiated Uranium, HW 49 483. Weitere Lit. s. Prozeßanlagen.

Q

Quadrierung von Kaskaden, s. Kaskade.

engl.: squaring of cascades *franz.: cascades carrées*

Quadrupolmoment

Quadrupolmoment, der endliche Grenzwert des Produktes aus dem (unendlich großen) Dipolmoment zwei entgegengesetzt gleicher Dipole und ihrem (unendlich kleinen) Abstand. Die physikalische Dimension eines elektrischen Q.s ist daher [Ladung · Fläche]. Für Atome und Kerne wird das elektrische Q. meist einfach in cm^2 angegeben, wobei als Ladung die Elementarladung zugrunde gelegt wird.

Die Q.e einiger Atomkerne, welche sich aus der Hyperfeinstruktur bestimmen lassen, sind:

Schwerer Wasserstoff	^{2}H	0,00273	$\cdot 10^{-24}$ cm²
Chlor	^{35}Cl	− 0,079	$\cdot 10^{-24}$ cm²
Arsen	^{75}As	0,3	$\cdot 10^{-24}$ cm²
Tantal	^{181}Ta	6,0	$\cdot 10^{-24}$ cm²

[1]

engl.: quadrupol moment

franz.: moment du quadripôle

Lit.: W. Riezler, Kernphysik, 6. Aufl., Oldenbourg, München, 1958. – H. Kopfermann, Kernmomente, 2. Aufl., Akad. Verl. Ges., Frankfurt a. M., 1955.

Quant. Die Deutung des Planckschen Strahlungsgesetzes (1900) führte dazu, daß die Energiewerte, mit denen ein Oszillator schwingen kann, nicht als eine kontinuierliche Mannigfaltigkeit angesehen werden dürfen, sondern eine diskrete Verteilung aufweisen müssen. Die Energie kommt also nur in gewissen definierten Portionen (Quantitäten) oder „Q.n" vor. Die Größe der Energiequanten hängt von dem jeweiligen physikalischen Prozeß ab.

Die Bedeutung des Planckschen Strahlungsgesetzes liegt darin, daß in ihm erstmalig jene quantenhafte Struktur der Natur offenbar geworden ist, die heute in atomaren Dimensionen überall zu finden ist. Die Quantelung der Energie hat unmittelbar die Existenz von Strahlungsquanten zur Folge. Denn ein Strahlungshohlraum enthält auf beliebig kleinem Raum nicht beliebig kleine Energiemengen. Ist der Hohlraum mit Strahlung der Frequenz ν erfüllt, so ist das kleinste Energiequant $h\nu$ (h Plancksches Wirkungsquantum). Die Strahlung, der ja Energie zugeordnet ist, kann daher auch nicht als Kontinuum aufgefaßt werden, das über den Raum verbreitet ist und in beliebig

kleinen Raumelementen in beliebig kleinen Mengen zu finden wäre. Es gibt also ein Strahlungsquant; man nennt es *Photon.

Einstein war der erste, der das Plancksche Ergebnis von den Energiequanten ernst nahm (während Planck selbst es stets zu überwinden und die alte Kontinuumsvorstellung wieder herzustellen suchte), die *Lichtquantenhypothese entwickelte und damit den *Photoeffekt erklärte. Heute ist die Idee des Q.s allgemein in die Physik eingeführt, allerdings nicht so, daß es keine physikalische Realität in Form eines Kontinuums mehr gäbe, sondern in einem eigenartigen Dualismus, in dem ein und dasselbe Ding (Elementarbaustein) je nach Art der Beobachtung einmal als diskretes Q., einmal als kontinuierliches Feld erscheint. Beide Aspekte stehen gleichberechtigt nebeneinander. So wie dem aus der klassischen Physik bekannten Lichtfeld das Lichtquant oder Photon zugeordnet ist und die Q.n des Kernfeldes in erster Linie die π-Mesonen sind, so ist den in der klassischen Physik geläufigen Elementar-„Teilchen“ (Elektronen, Nukleonen) ein Feld zugeordnet. Man spricht von dem Dualismus von Welle und Teilchen als einem allgemeinen Naturgesetz in dem Sinne, daß die Natur für den Beobachter zwei Aspekte habe. Die physikalische Theorie, die beide Aspekte umfaßt, ist die Q.n- oder Wellenmechanik. [7]

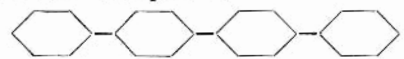
engl.: quantum
franz.: quantum

Quantenenergie, die Energie $E = h\nu$ (h Plancksches Wirkungsquantum) eines einzelnen Photons einer Wellenstrahlung der Frequenz ν. Sie läßt sich nach obiger Beziehung stets leicht aus der Frequenz berechnen und in erg oder in eV ($1\,\text{eV} = 1{,}602 \cdot 10^{-12}$ erg) ausdrücken. Besonders bei harten (kurzwelligen) Strahlungen wird die Qualität der Strahlung lieber durch die Q. als durch die Frequenz bzw. die Wellenlänge angegeben.

Die Q. ist für sichtbares Licht 1,65 eV (Rot) bis 3,1 eV (Violett), für Röntgen-Strahlen, z. B. für die K_α-Strahlung des Eisens 6430 eV, die K_α-Strahlung des Tantal 57 800 eV, die K_α-Strahlung des Uran

98 100 eV, für die natürliche γ-Strahlung des Thorium C″ bis 2,62 MeV, bei Kernumwandlungen bis über 17 MeV und für die härtesten mit den Elektronenstrahlen des Synchrotrons z. Z. erzeugbaren Röntgen-Strahlen bis etwa 1000 MeV. [1]
engl.: quantum energy
franz.: énergie quantique

Quaterphenyl. p-Quaterphenyl ist eine Verbindung aus der Polyphenylreihe, in der vier Benzolringe linear miteinander verknüpft sind.



p-Q hat eine größere Strahlungsstabilität als alle Terphenylisomeren. Ein gewisser Nachteil für den Einsatz als Moderator und Kühlmittel ist der relativ hohe Schmelzpunkt von 318 °C. p-Q ist bis 445 °C thermisch stabil. Die Verbindung kann zu weniger strahlungsstabilen Stoffen in kleinen Mengen zugesetzt werden, um die Strahlungsresistenz zu erhöhen. Der Schmelzpunkt wird hierbei ebenfalls stark herabgesetzt. Besonders vorteilhaft sind eutektische Mischungen. [18]
engl.: quaterphenyl *franz.: quarterphenyle*

Quellbereich, idealisierter Teilbereich des *Startverlaufs, in dem der größte Teil der Abschaltreaktivität bei relativ kleinen Leistungssteigerungen ausgeglichen wird. Der Reaktor ist unterkritisch und der Neutronenfluß geht zurück auf die Vermehrung, die der Neutronenfluß einer eingebrachten Quelle erfährt. Auf den Q. entfällt der Hauptanteil der Startzeit und der geringste Leistungsunterschied während des Starts. [9]
engl.: source range
franz.: gamme de source
Lit.: S. Glasstone, Principles of Nuclear Reactor Engineering, D. van Nostrand Comp., New York, 1955.

Quellenverriegelung. In den meisten Reaktoren ist eine starke Neutronenquelle eingebaut, so daß beim Anfahren schon ein merklicher Neutronenfluß herrscht. Fehlt die Quelle, so kann bei niedrigen Leistungen die Periode sehr kurz werden. Die Q. verhindert, daß die Regelstäbe herausgezogen werden können, wenn die Quelle fehlt. Das kann z. B. durch einen Minimalkontakt an einem Neutronenflußmesser geschehen;

wenn dieser geschlossen ist, können die Regelstäbe nicht herausgezogen werden. [19]
engl.: source interlock *franz.: verrouillage*

Quellfluß Φ_s, durch Neutronenquellen in einem reinen Diffusionsmedium hervorgerufener lokaler *Neutronenfluß. Bei multiplizierenden Medien, wie der Spaltzone eines Reaktors, entspricht der Q. dem Neutronenfluß, der sich für den idealisierten Grenzfall $k_{\text{eff}} = 0$ ergeben würde, wenn zugleich die Diffusions- bzw. Wanderungseigenschaften unverändert blieben. Mit der lokalen Quellstärke s ($\text{s}^{-1}\,\text{cm}^{-3}$) der Neutronenquellen ist der Q. Φ_s bei gleicher Verteilung von s und Φ_s durch die Gleichung $\Phi_s = s\, l_{\text{eff}}\, v$ verknüpft. Dabei bedeutet l_{eff} die effektive Lebensdauer der Neutronen, v die mittlere thermische Neutronengeschwindigkeit. [9]
engl.: source (stabilized neutron) flux
franz.: flux de la source

Quellkorrektur. Der Neutronenfluß in einem unendlichen homogenen Medium, der von einer isotropen ebenen Quelle erzeugt wird, kann nach Wigner streng berechnet werden. Einige freie Weglängen von der Quellfläche entfernt gilt die asymptotische Lösung:

$$\Phi(x)_{as} = \varkappa \frac{e^{-x/L}}{2\, L\, \Sigma_a}$$

$$\text{mit} \quad \varkappa = \frac{2\, \Sigma_a}{\Sigma_s} \, \frac{\Sigma^2/L^2 - 1}{1 - L^2\, \Sigma\, \Sigma_a} .$$

Dabei bedeutet Σ den totalen Wirkungsquerschnitt, Σ_s den Streu- und Σ_a den Absorptionsquerschnitt. L ist die Diffusionslänge.
Behandelt man das gleiche Problem mit Hilfe der *Diffusionsgleichung, so ergibt sich dagegen

$$\Phi(x)_{as} = \frac{e^{-x/L}}{2\, L\, \Sigma_a} .$$

Der Unterschied kann dahingehend gedeutet werden, daß die strenge Transporttheorie in der Umgebung der Quelle eine stärkere Absorption ergibt, als die Diffusionstheorie, daß also die Quelle, aus einiger Entfernung gesehen, schwächer erscheint.
Vom Standpunkt der Transporttheorie aus muß dem-

nach an der Lösung der Diffusionsgleichung eine Q. angebracht werden, indem man sie mit dem Faktor $\varkappa$ multipliziert. Ist das Medium ein schwacher Absorber, so kann man $\varkappa \approx 1 - 4\,\Sigma_a/5\,\Sigma$ setzen. Für reines H_2O ist die Q. $\approx 0{,}9\,\%$, für Graphit $0{,}1\,\%$, die Q. ist also unerheblich. Anders liegen die Dinge, falls das Wasser angereicherten Spaltstoff enthält. [13]

engl.: source strength correction

franz.: correction de sources

Lit.: A. M. Weinberg and L. C. Noderer, Theory of Neutron Chain Reactions, AECD-3471, 1951.

Quellverstärkung, Faktor der stationären Neutronenflußsteigerung in einem multiplizierenden Medium $(1 > k_{\mathrm{eff}} > 0)$ gegenüber *Quellfluß. Hierfür gilt bei gleicher räumlicher Verteilung von Φ und Φ_s der Zahlwert $v_Q = \Phi(k)/\Phi_s = (1 - k)^{-1}$. Bei verschiedener räumlicher Verteilung von Φ und Φ_s sind Korrekturfaktoren erforderlich, die jedoch wegen der zunehmenden Zahl sekundärer Neutronen um so weniger Bedeutung haben, je größer die Q., d. h. je kleiner $(1 - k)$ wird. [9]

engl.: subcritical multiplication factor

franz.: facteur de multiplication subcritique

Lit.: S. Glasstone, Principles of Nuclear Reactor Engineering, D. van Nostrand Comp., New York, 1955.

Q-Wert, s. Energietönung von Kernprozessen.

R

rad, Einheit der absorbierten Dosis. 1 rad = 100 erg/g irgendeines Mediums. Bei Röntgen- und γ-Strahlen einer Energie bis etwa 3 MeV entspricht 1 r in Luft einer absorbierten Dosis in Luft von 0,88 rad, in Gewebe an derselben Stelle von etwa 1 rad. [28]

Radikale. Atome oder chemische Verbindungen mit einem unpaaren (einzelnen) Elektron, also mit einer ungeraden Elektronenzahl, nennt der Chemiker R. Die Definition ist gegenüber früheren Versionen erweitert. So gehören nicht nur Atomverbindungen wie OH, sondern auch Atome wie H dazu. Sie zeigen paramagnetische Eigenschaften und haben im allgemeinen eine kurze Lebensdauer von etwa 10^{-5} s. Auf Grund

ihres chemischen Aufbaus können die R. jedoch stabilisiert werden. So kann DPPH (Diphenylpikrylhydrazyl), das durch Resonanz mit den Benzolkernen stabilisiert ist, als normale Verbindung angesehen werden, jedoch mit einer sehr großen Reaktionsfähigkeit gegenüber anderen R.n. Auch hat die rein physikalische Struktur (Anregungszustand) Einfluß auf die Lebensdauer. Hochmolekulare R. in festen Kunststoffen können ebenfalls über längere Zeiträume stabil bleiben, so daß an ihnen durch geeignete Maßnahmen neue Reaktionen eingeleitet werden können.
R. werden sowohl durch thermische und elektrische Energie als auch durch Einwirkung von ionisierenden Strahlen gebildet. Sie sind im allgemeinen sehr reaktionsfähige Stoffe, die in der chemischen Technik eine ausschlaggebende Rolle spielen, genannt seien hier nur die Polymerisation, Chlorierung und Krackung. [18]
engl.: radical
franz.: radical

Radikalfänger. Stoffe, die sehr schnell mit Radikalen reagieren können. Meist langlebige Radikale oder Substanzen, die leicht zu solchen aufspalten, z. B. *DPPH, Jod. [18]
engl.: scavenger

Radikalreaktion. Chemische Reaktionen können nach verschiedenen Reaktionsmechanismen ablaufen. Es können Ionen, polarisierte Moleküle und auch Radikale als Reaktionspartner eintreten.
Bei der strahlenchemischen Zersetzung von Molekülen werden sehr oft Radikale gebildet. Der Ausdruck R. wird insbesondere für die radiolytische Zersetzung des Wassers nach

$$H_2O \rightarrow H^{\cdot} + OH^{\cdot}$$

gebraucht. Die R. hat bei geringer Ionisationsdichte, d. h. bei sehr hohen Quantenenergien von γ- oder Röntgen-Strahlung oder sehr hoch beschleunigten Teilchen (z. B. Elektronen ab einigen 100 keV) einen großen Anteil an der Wasserzersetzung, während bei hoher Ionisation die *Molekularreaktion überwiegt. [18]
engl.: radical reaction *franz.: réaction de radicaux*

radioaktiv heißen alle Stoffe, deren Kerne spontan, ohne äußeren Anlaß, zerfallen oder sich umwandeln. Im weiteren Sinne wird das Wort „r." auch für alles gebraucht, was mit der Radioaktivität zusammenhängt (s. Gleichgewicht, r.; Zerfall, r.; Zerfallsreihen, r.). [1]
engl.: radioactive
franz.: radioactif

Radioaktivität, die Eigenschaft gewisser chemischer Elemente, genauer gesagt gewisser Nuklide, sich von selbst, ohne jede äußere Einwirkung, umzuwandeln und dabei eine charakteristische Strahlung auszusenden. Wenn die radioaktiven Isotope in der Natur vorkommen oder aus natürlich vorkommenden radioaktiven Isotopen durch radioaktive Umwandlung entstehen, spricht man von natürlicher R. Sind dagegen die radioaktiven Isotope die Produkte künstlicher Kernumwandlungen, so haben wir die künstliche R. Die natürliche R. wurde 1896 von Becquerel am Uran entdeckt; wenige Jahre später fanden Pierre und Marie Curie das Radium mit einer millionenfach stärkeren R. Heute kennen wir über 40 verschiedene natürliche radioaktive Isotope, welche mit wenigen Ausnahmen zu den allerschwersten Kernen, den Elementen mit den höchsten Ordnungszahlen (81 bis 92), gehören. Oberhalb der Ordnungszahl 83 zeigen alle in der Natur vorkommenden Kerne R.

Die radioaktive Umwandlung (auch radioaktiver *Zerfall genannt) eines radioaktiven Stoffes besteht darin, daß seine Kerne entweder jeweils ein α-Teilchen ausschleudern (*α-Zerfall), wodurch ihre Ordnungszahl um zwei Einheiten, ihre Massenzahl um vier Einheiten abnimmt, oder aber ein Elektron (*β-Zerfall), wodurch ihre Ordnungszahl um eine Einheit zu nimmt und ihre Massenzahl ungeändert bleibt. Die Elektronenemission ist oft von γ-Strahlung begleitet. Schließlich gibt es den *γ-Zerfall. Isomere (angeregte Nuklide) gehen in den Grundzustand durch Emission eines γ-Quants über. Hierbei ändert sich weder Massen- noch Ordnungszahl, sondern lediglich der Energiegehalt der Nuklide. Je Zeiteinheit zerfällt bei jedem einheitlichen radioaktiven Stoff ein ganz bestimmter Bruchteil der gerade vor-

handenen Kerne (*Zerfallskonstante), so daß die Menge der noch vorhandenen, nicht umgewandelten Kerne – soweit sie nicht aus anderen Stoffen nachgebildet werden – jeweils in einer bestimmten Zeit, der *Halbwertszeit, auf die Hälfte sinkt. Welche individuellen Kerne aber gerade in einem bestimmten Augenblick zerfallen, ist dem Zufall überlassen. Man kann nicht voraussagen, ob ein bestimmter, herausgegriffener Kern in der nächsten Sekunde zerfällt oder noch eine Milliarde Jahre „lebt".

Bei der radioaktiven Umwandlung eines schweren Kerns entsteht meist wieder ein radioaktiver Kern, der seinerseits weiter zerfällt, bis schließlich nach einer größeren Zahl von Umwandlungen ein stabiler, nicht mehr weiter zerfallender Endkern gebildet wird. So entstehen die radioaktiven *Zerfallsreihen, von denen es vier gibt: die Uran-Radium-Reihe, die Thoriumreihe, die Aktiniumreihe und die Neptunium-Reihe. Die Neptuniumreihe kommt in der Natur nicht vor.

Die radioaktive Umwandlung ist mit einer sehr hohen Energieentwicklung verknüpft, welche nur deswegen nicht hervortritt, weil sie sich über eine lange Zeit verteilt. So erzeugt z. B. 1 g Radium samt seinen Folgeprodukten beim radioaktiven Zerfall über 3 Millionen kcal (Vergleich: 1 g Kohle erzeugt beim Verbrennen 8 kcal). Von dieser Energie wird die Hälfte innerhalb der Halbwertszeit des Radiums, d. h. von 1580 Jahren frei, so daß die stündliche Energieentwicklung nur 0,137 kcal beträgt. Immerhin reicht dies aus, um einem starken Radiumpräparat dauernd einen Temperaturüberschuß von einigen Graden gegenüber seiner Umgebung zu erteilen.

Die künstliche R. wurde 1934 von Irène Joliot-Curie und ihrem Gatten Joliot an dem bei der Bestrahlung von Aluminium mit α-Strahlen entstehenden radioaktiven Phosphor entdeckt:

$$^{27}_{13}\text{Al} + {}^{4}_{2}\text{He} \rightarrow {}^{30}_{15}\text{P}^* + {}^{1}_{0}\text{n}$$

$$^{30}_{15}\text{P}^* \rightarrow {}^{30}_{14}\text{Si} + e^+ \text{ (Halbwertszeit 2,2 min).}$$

Die Zahl der bekannten künstlich radioaktiven Stoffe liegt heute über 800 und steigt noch immer.

Bei den künstlich radioaktiven Stoffen gibt es etwa gleichviel „normale" β-Strahler und Positronenstrahler (s. Positronenzerfall).

Außerdem gibt es die radioaktive Umwandlung durch *K-Einfang.

Die Herstellung künstlich radioaktiver Stoffe in größeren Mengen geschieht mittels der äußerst starken Neutronenstrahlung der Reaktoren, in kleineren Mengen am Zyklotron.

Außer den angeführten Arten des radioaktiven Zerfalls spielt bei den schwersten Kernen noch die spontane *Spaltung eine Rolle, die bei den schwersten Transuranen mit dem α-Zerfall in Konkurrenz tritt.

R. der Atmosphäre beruht auf den vom Boden abgegebenen gasförmigen Zerfallsprodukten (Emanation) der radioaktiven *Zerfallsreihen, die ihrerseits in Luft weiter zerfallen. Über dem Festlandsboden werden 10^{-16} Curie/cm^3 gemessen. Das bedeutet je cm^3 1,77 Atome $^{222}_{86}$Rn, $9{,}8 \cdot 10^{-4}$ $^{218}_{84}$Po (RaA), $8{,}6 \cdot 10^{-2}$ $^{214}_{82}$Pb (RaB), $6{,}3 \cdot 10^{-3}$ $^{214}_{84}$Po (RaC'). Sie ergeben zusammen eine Ionisierungsstärke von 2 (0,1) Ionenpaaren je cm^3 und s, die auf α-(γ-)Strahlung zurückgeht. Die Ionisierungsstärke aus α-Strahlung der Thorium-Reihe beträgt etwa 60 % jener der Uran-Radium-Reihe. Die gemessenen Aktivitäten zeigen anfangs den Abfall der Radiumemanation ($^{222}_{86}$Rn), der nach den ersten Stunden in den der Folgeprodukte des Thorons ($^{220}_{86}$Rn) mit $T \approx 10$ h übergeht. Aktivitäten, die nach 2–3 Tagen verbleiben, rühren von radioaktiven Stoffen aus Kernexplosionen und sonstigen künstlichen Verseuchungen der Atmosphäre her.

R. der Gesteine. Die Gesteine der Erdkruste senden infolge ihres Gehaltes an Uran, Thorium, Aktinium und deren Zerfallsprodukten α-, β- oder γ-Strahlen aus, wobei sie sich erwärmen und die benachbarte Luft ionisieren. Die R. variiert stark mit dem Ort, d. h. mit der geologischen Natur des Gesteins. Sie ist i. a. größer für Eruptivgesteine als für Sedimente. Zur Orientierung kann folgende Tabelle dienen.

Der Gehalt an U kann, da U und Ra im radioaktiven Gleichgewicht stehen, berechnet werden:

Gestein	In 1 g Substanz	
	Ra-Gehalt 10^{-12} g	10^{-5} g Th-Gehalt
Eruptivgesteine:		
Saure Erstarrungsgesteine ($4{,}2\,\%$ K_2O, $74\,\%$ SiO_2)	3	2
Mittlere Erstarrungsgesteine ($3{,}8\,\%$ K_2O, $48\,\%$ SiO_2)	2,6	1,6
Basische Erstarrungsgesteine ($1{,}4\,\%$ K_2O, $48\,\%$ SiO_2)	1,3	0,6
Sedimentgesteine:		
Tone	1,5	1,1
Sandsteine	1,4	$5 \cdot 10^{-6}$
Kalk und Dolomit	0,9	$<10^{-6}$

U-Gehalt $\approx 3 \cdot 10^6$ Ra-Gehalt. Der Ac-Gehalt ist außerordentlich klein und wird meist vernachlässigt.

Besonders stark radioaktiv sind die rezenten Laven. Nach Holmes beträgt der Gehalt der Lava des Kilauea-Kraters (1875) $6{,}2 \cdot 10^{-12}$ g, des Stromboli $6{,}0 \cdot 10^{-12}$ g und des Vesuv (1855) $19{,}2 \cdot 10^{-12}$ g Ra je g Substanz.

Die aus der kinetischen Energie der ausgesandten Strahlung und der Rückstoßatome resultierende Wärmeerzeugung dürfte nach J. Joly und H. M. Rudzki ausreichen, um ein Überwiegen der erzeugten über die von der Erdoberfläche abgestrahlte Wärme zu veranlassen. Der tatsächliche Wärmezustand im Erdinnern dürfte aber von der Art der Verteilung der R. mit der Tiefe abhängen. Der Hauptteil der radioaktiven Substanzen dürfte sich in den obersten 10 bis 15 km der Erdkruste befinden; unterhalb 70 km Tiefe wird völliges Aufhören der R. angenommen. Im Gegensatz zu dieser Auffassung haben in den letzten Jahren W. M. Elsasser und E. C. Bullard eine vielbeachtete Theorie entwickelt, nach der in der Umgebung des Erdmittelpunktes eine Anreicherung radioaktiver Substanzen stattfinden soll. Die von diesen entwickelte Wärme soll im flüssigen, elektrisch leitenden Erdkern eine

thermische Konvektion säkularen Ausmaßes hervorrufen, die Anlaß zur Ausbildung der sogenannten Aktionszentren der erdmagnetischen Säkularvariation geben soll. Elsasser möchte auch die Existenz des Permanentfeldes (sowohl der Erde wie auch der Sonne und gewisser Sterne) auf diese Energiequelle zurückführen.

R. des Meeres. Die – allerdings älteren (1909) – Untersuchungen verschiedener Meere durch Joly ergaben einen mittleren Ra-Gehalt des Meerwassers von $0{,}017 \cdot 10^{-12}$ g/cm³. Zum Vergleich: Eruptivgesteine enthalten 1 bis $3 \cdot 10^{-12}$ g/cm³ Ra. Die R. des Meeres muß daher als gering angesehen werden. Trotzdem enthalten die Meere zusammen 20 000 t Ra, wenn man ihre Gesamtwassermenge zu $1{,}45 \cdot 10^{18}$ t veranschlagt.

Starke Anreicherung an radioaktiven Substanzen weisen hingegen die (rezenten) Tiefseesedimente auf: Globigerinenschlamm 7,2, Radiolarienschlamm 36,7 und roter Tiefseeton $27{,}0 \cdot 10^{-12}$ g Ra je cm³. [1, 7]

Lit.: St. Meyer u. F. Schweidler, Radioaktivität, 2. Aufl., Teubner, Leipzig, 1927. – W. Riezler, Kernphysik, 6. Aufl., Oldenbourg, München, 1958. – W. Hanle, Künstl. Radioaktivität, 2. Aufl., Piscator, Stuttgart, 1952. – J. Mattauch u. A. Flammersfeld, Isotopenbericht, Z. f. Naturforsch., Tübingen, 1949. – B. Gutenberg, Lehrbuch der Geophysik, Springer, Berlin, 1929.

engl.: radioactivity

franz.: radioactivité

Radioblei. RaD, das β-aktive Bleiisotop $^{210}_{82}$Pb, das durch Zerfall des Radiums $^{226}_{88}$Ra entsteht. [7]

engl.: radiolead

franz.: radioplomb

Radiochemie. Die R. ist der Teil der Chemie, der sich mit Reaktionen, Synthesen und Analysen befaßt, bei denen einige oder alle Reaktionspartner radioaktive Elemente sind. [26]

engl.: radiochemistry

franz.: radiochimie

Radiochromatographie. Eine Kombination von Chromatographieverfahren und Radioaktivitätsmessungen. Die auf chromatographischem Wege getrennten Stoffe werden durch ihre radioaktive Strahlung identifiziert. Dabei kann man mit bereits radioaktiv markierten Stoffen arbeiten oder die getrennten Stoffe

nachträglich aktivieren. Die Identifizierung der Verbindung geschieht entweder durch Abtasten des Chromatogrammes mit einem Geiger-Müller-Zählrohr oder durch Autoradiographie. [3]
engl.: radiochromatography
franz.: radiochromatographie
Lit.: E. Lederer u. M. Lederer, Chromatographie, Elsevier, Amsterdam, 1955.

Radioelemente sind Elemente, welche nur radioaktive Isotope haben. Dies sind, soweit die natürliche Radioaktivität betrachtet wird, vor allem die Elemente mit den Ordnungszahlen von 84 aufwärts, also Polonium (84), Emanation (86), Radium (88), Aktinium (89), Thorium (90), Protaktinium (91) und Uran (92). Außerdem ${}_{43}Tc$ und alle Transurane (s. Tab. im Anhang). [1, 7]
engl.: radioelements
franz.: radioéléments

radiogen, s. Nachtrag.

Radiographie, das Verfahren, mittels energiereicher ionisierender Strahlen auf Filmmaterial eine Schwärzung hervorzurufen.

Diese Fähigkeit wird einmal in der Röntgen-Diagnostik bei der Herstellung von Röntgen-Aufnahmen und zum anderen bei der Autoradiographie zur Feststellung radioaktiver Korpuskeln im lebenden Organismus oder totem Material verwendet. [28]
engl.: radiography
franz.: radiographie

Radioindikator, s. Leitisotopenmethode.
engl.: tracer
franz.: radioélément indicateur

Radioisomere, Nuklide mit der gleichen Anzahl von Neutronen und Protonen, die für eine meßbare Zeit in verschiedenen Energiezuständen existieren können und verschiedene radioaktive Eigenschaften besitzen. Den Zustand mit der geringsten Energie bezeichnet man als Grundzustand, während die höher liegenden Energiezustände als metastabile Zustände bezeichnet werden. Die metastabilen Isomere werden durch Hinzufügen des Buchstaben „m" zur Massenzahl des Nuklid-

symbols kenntlich gemacht, z. B. Br^{80m}, oder durch einen Stern: $^{80}Br^*$. Das Isomer mit dem höheren Energieinhalt geht nach einer bestimmten Lebensdauer unter Emission von γ-Strahlung in den Grundzustand (z. B. ^{80}Br) über. Dieser Zerfall wird als isomerer Übergang bezeichnet. [3]
engl.: radioisomeres
franz.: radioisomères

Radiokohlenstoff, zunächst jede Art von künstlich radioaktivem Kohlenstoff, speziell aber der C-14, ein β-Strahler von 5600 Jahren Halbwertszeit. Dieser R. bildet die Grundlage der Libbyschen Methode der Altersbestimmung archäologischer Objekte, da er durch Neubildung durch die kosmische Strahlung in der Atmosphäre und (durch CO_2-Austausch) in allen lebenden Organismen in einer festen Gleichgewichtskonzentration vorhanden ist, in toten Organismen (z. B. gefälltem und verarbeitetem Holz) aber entsprechend seiner Halbwertszeit abklingt. [1]
engl.: radioactive carbon
franz.: radiocarbone

Radiokolloide. Zusammenballung von radioaktiven Atomen zu größeren Aggregaten bei extrem niedrigen Konzentrationen. Die Zusammenballung kann entweder durch Adsorption an Verunreinigungsteilchen bedingt sein (Pseudokolloide) oder aber durch echte Kolloidbildung. [3]
engl.: radiocolloids
franz.: radiocolloïdes
Lit.: Schweitzer u. Jackson, J. Chem. Education 29, 513 (1952).

Radiologie, die Lehre von den Strahlen und ihrer Anwendung in Biologie und Medizin. Ursprünglich wurde dabei nur die Lehre von den Röntgen-Strahlen und natürlich radioaktiver Substanzen (Radium) verstanden. Durch die Möglichkeit, künstlich radioaktive Substanzen herzustellen (Reaktor), hat das Gebiet eine erhebliche Ausweitung in der Medizin, Biologie, Technik, Landwirtschaft etc. erfahren. [28]
engl.: radiology
franz.: radiologie

Radiolumineszenz. Jede durch Strahlung irgendwelcher Art erregte Aussendung von sichtbarem Licht

heißt Lumineszenz. Im Gebiet der Radioaktivität versteht man unter R. die Lumineszenz unter der Wirkung energiereicher Strahlung radioaktiver Stoffe. [1]
engl.: radioluminescence
franz.: radioluminescence

Radiolyse. Jede ionisierende Strahlung tritt mit der Materie, die sie durchdringt, in Wechselwirkung. In der Mehrzahl der Fälle werden Atome oder Moleküle in angeregte Zustände versetzt oder in Ionen bzw. Radikale übergeführt. Diese meist kurzlebigen Zwischenprodukte können vielfältige Reaktionen mit allen sie umgebenden Molekülen eingehen. Durch diese Reaktionen entstehen neue Stoffe mit veränderten Eigenschaften, teils größere Moleküle, teils Bruchstücke. In Gegenwart von Luft treten Oxydationen ein. Alle Veränderungen, die durch die ionisierende Strahlung in chemischen Systemen hervorgerufen werden, können unter dem Begriff R. zusammengefaßt werden. [18]
engl.: radiolysis
franz.: radiolyse

Radiomimetika. Es handelt sich bei den R. um eine Gruppe organisch-chemischer Körper, denen gleiche biologische Eigenschaften zukommen. Sie sind chemisch meist nicht miteinander verwandt, sogar sehr different, zeigen aber eine auffallende Affinität zu bestimmten Organen und zu bestimmten bösartigen Geschwülsten. Letztere werden in ihrem Wachstum gehemmt und die empfindlichen Organe atrophieren. Da insbesondere die befallenen Organe und auch die Atrophie in ihnen den Veränderungen nach einer Bestrahlung mit energiereichen Strahlen (Röntgen-, α-, β- oder γ-Strahlen) sehr ähnlich ist, hat man diese Gruppe verschiedener chemischer Körper unter dem Begriff R. zusammengefaßt. Zu ihnen gehören Körper wie z. B. N-Lost und seine Abkömmlinge, Butadiendiepoxyd, Myleran, Melamine, Actinomycin C etc. Ihre Tumorwirkung richtet sich vor allem gegen Leukosen, Lymphogranulomatose, Lymphosarkome, Retothelsarkome, multiples Myelom, mitunter auch bei Bronchialkarzinom wirksam. – Eine atrophierende Wirkung besitzen sie gegenüber folgenden Organen: Milz und alle Teile des

Retikuloendothelialensystems, Thymus und lymphatisches System, sowie dem Knochenmark. Dagegen fehlen ihnen die für eine Bestrahlung typische Wirkung auf die Keimdrüsen und den Darm, sowie die Spätschäden. [28]

Radiopapierchromatograph, mißt und registriert die Verteilung der Menge radioaktiven Materials auf Chromatographie- oder Elektrophorese-Papierstreifen. [6]
engl.: (paper) chromatograph for radioactivity
franz.: radiochromatographe sur papier

Radiothor, s. Nachtrag.

Radium, das wichtigste in der Natur vorkommende Radioelement mit der Ordnungszahl 88 (chem. Symbol Ra). Das R. wurde 1898 als winzige Beimengung der Joachimsthaler Pechblende, eines Uranerzes, von Pierre und Marie Curie entdeckt und durch mühsamste Verfahren zunächst als Verbindung isoliert, 1910 auch als Metall rein hergestellt. Sein Atomgewicht ist 226,05. Außer dem Isotop mit der Massenzahl 226, dem eigentlichen R., hat es noch die natürlichen Isotope 223, 224 und 228, die als AcX in der Aktiniumreihe bzw. als ThX und $MsTh_1$ in der Thoriumreihe auftreten, sowie noch eine Anzahl künstlich erzeugter Isotope. Chemisch gehört es zu den Erdalkalimetallen. Es ist weich und silberglänzend, hat die Dichte 6, den Schmelzpunkt 700 °C und den Siedepunkt 1140 °C.
Das Hauptisotop hat eine Halbwertszeit von 1580 Jahren und sendet α-Strahlen einer Energie von 4,8 MeV aus. Es ist ein Glied in der Uran-Radium-Zerfallsreihe (s. Zerfallsreihen, radioaktive), ist innerhalb dieser entstanden aus Ionium und zerfällt zu R.-Emanation oder Radon, einem Edelgas (Isotop der Massenzahl 222), welches selbst wieder mit einer Halbwertszeit von 3,92 Tagen weiterzerfällt. Die weiteren Folgeprodukte, R. A bis R. F (die jedoch trotz dieser Bezeichnung keine Isotope des R.s, sondern Isotope anderer Elemente sind; s. die Abb. bei Zerfallsreihen, radioaktive) bilden den „aktiven Niederschlag", der sich überall absetzt, wo die Emanation hinkommt, wodurch beim Arbeiten mit R. stets die Gefahr der „radio-

aktiven Verseuchung" entsteht. Das Schlußglied der Zerfallsreihe ist das Bleiisotop von der Massenzahl 206, welches vom R. aus nach Aussendung von fünf α-Teilchen und vier Elektronen erreicht wird.
Das R. spielt eine wichtige Rolle in der Medizin, vor allem zur Krebsbekämpfung. Hierbei sind die im wesentlichen von seinen Folgeprodukten ausgehenden γ-Strahlen wirksam. (Radiumtherapie.) [1]
engl.: radium *franz.: radium*
Lit.: s. Radioaktivität.

Radium-Beryllium-Quelle, s. Neutronenquellen.

Radiumnadel. Zur Applikation von Radium in Tumoren, die von außen nicht oder nur schwer zugänglich sind, werden als Träger des Radiums sog. Nadelfilter oder R.n verwendet, die in den Tumor eingestochen werden (Spickung). Sie haben die Form von Röhrchen und sind meist aus dünnem Gold, versehen mit einer Platinspitze. In diese wird die in eine Pt-Ir-Hülse eingeschlossene Radium-Substanz ($RaSO_4$) eingeschoben. Das Filter hat die Aufgabe, die aus dem Radium-Präparat austretende β-Strahlung weitgehend abzufangen. Die Filter sind 20, 30 und 40 mm lang. Die Applikation geschieht mittels sog. Spickinstrumente, deren Innendurchmesser gleich dem Außendurchmesser der Nadeln ist und durch deren Lumen die R.n eingeführt werden. Durch die Nadelösen werden Fäden gezogen, die einerseits einen Verlust der Nadel beim Herausfallen verhindern und andererseits das Herausziehen der Präparate nach der Bestrahlung erleichtern sollen. Die Fäden werden während der Bestrahlung außen am Patienten befestigt. [28]
engl.: radium needle *franz.: aiguille de radium*

Radon. Darunter versteht man meist speziell die Radiumemanation (s. Radium) mit der Massenzahl 222, mitunter aber auch allgemeiner das chemische Element Emanation überhaupt (Ordnungzahl 86), einschließlich aller Isotope. In der letzteren Bedeutung ist ihm das chemische Symbol Rn zugeordnet. Daneben wird aber auch Em (Emanation) gebraucht. Näheres s. Emanation. [1]
engl.: radon *franz.: radon*

Rand, extrapolierter, s. Grenze, extrapolierte.

Rate, aus dem Englischen übernommener, teilweise schillernder Begriff. R. bedeutet in der Regel die Häufigkeit des Eintretens eines Ereignisses in einem bestimmten Zeitabschnitt, z. B. Zählrate *(counting rate)*. [6]

Raumstrahlung, die im radioaktiven *Laboratorium herrschende allgemeine Strahlung, die zurückzuführen ist auf

kosmische *Strahlung und natürliche Radioaktivität der Umgebung, z. B. Ziegelwände,

im Laboratorium abgestellte, meist gammastrahlende Präparate,

radioaktive *Verseuchung von Arbeitsgeräten, Tischen, Fußböden usw.

Die R. des radioaktiven Laboratoriums soll ständig überwacht werden. Hohe R. gefährdet die im Laboratorium Beschäftigten und stellt eine empfindliche Störung bei der Messung intensitätsarmer radioaktiver Präparate dar. [16]

engl.: background

franz.: rayonnement ambiant

raumzentriert kubisch, s. kubisch raumzentriert.

Rayleigh-Formel, s. Destillation.

RBW, Abk. f. relative biologische *Wirksamkeit.

engl.: RBE *franz.: RBE*

RCN, Abk. für *Reactor Centrum Nederland.

Reactor Centrum Nederland, halbstaatliche holländische Organisation (50 % Staat, 25 % Privatindustrie, 25 % kommunale Energieversorgungsunternehmen) für die friedliche Anwendung der Atomenergie in Holland. Gegründet 1955. Abk.: RCN. [24]

Reaktionsapparate sind die Vielzahl aller Maschinen und „Apparate", die zur Durchführung von Verarbeitungsprozessen in der chemischen und allgemein in der Verbrauchsgüterindustrie verwendet werden. Trotz ihrer ungeheuren Vielfältigkeit je nach der Aufgabe lassen sie sich jedoch ähnlich wie die *Grundverfahren auf gewisse Grundtypen zurückführen. Ihre spezielle konstruktive Form wird wesentlich durch die Betriebsbedingungen (Korrosion, Druck, Temperatur, mechanische Beanspruchung, z. B. beim Fördern körniger Güter u.a.m.) bestimmt. Während man unter Maschi-

nen alle diejenigen Einrichtungen zur Durchführung von Verfahren in der Prozeßführung versteht, die vorzugsweise durch mechanische Bewegung wirken (s. Grundverfahren: Mechanische Stofftrennung), also z. B. Maschinen zur Zerkleinerung (Mühlen, Brecher), Siebmaschinen, Windsichter, Rechenklassierer, Trommelfilter, Fördermaschinen (mechanische Pumpen) usw., versteht man unter „Apparaten“ i. e. S. Gefäße verschiedenster konstruktiver Gestaltung, in denen vorzugsweise Druck und Temperatur, gegebenenfalls unter Zuhilfenahme mechanischer Einwirkung, z. B. *Rühren, angewendet werden. Diese Reaktionsgefäße lassen sich in einige Gruppen einteilen:

Reaktionsapparate

1. Reaktionstopf (Kocher, Autoklav, Rührwerk)
2. Reaktionsrohr (Drehrohr in Form z. B. von Drehöfen zum Rösten)
3. Strömungsrohr (zur Durchführung stetiger Prozesse, Wärmetauscher)
4. Kaskade (die Hintereinanderschaltung mehrerer Reaktionsgefäße)
5. Säulen und Türme (Rektifiziersäulen, Extraktionskolonnen, Waschtürme)
6. Industrieöfen.

Für sie lassen sich allgemeingültige Regeln für die Grundformen ihrer konstruktiven Gestaltung aufstellen, so daß der „Baukasten“-artige Aufbau von Anlagen aus solchen apparativen Elementen möglich (Rationalisierung ihrer Fertigung!) ist. Häufig verlangen aber extrem hohe Anforderungen an die Korrosionsbeständigkeit (Ausschluß der Verunreinigung des Produktes durch chemischen Angriff auf die Baustoffe der Apparate!) und Betriebssicherheit bei extrem hohen Temperaturen und Drücken wesentlich von den Grundformen abweichende Konstruktionen. Hier spielen Probleme der auftretenden Wärmespannungen (relativ schlechte Wärmeleitfähigkeit hochlegierter Stähle) und der Abdichtung, die mit herkömmlichen Mitteln meist nicht mehr zu bewältigen sind, eine zunehmende Rolle. Bei Säulen (s. Füllkörpersäule und Bodenkolonne) sind die häufig einander widersprechenden Anforderungen an bestmögliche Stoffdurchmischung (*Solventextraktion im Gegenstrom) und möglichst geringen Druckverlust

eine wesentliche Erschwerung, wobei die Kostenfrage nicht aus dem Auge gelassen werden darf. [2]

engl.: (reaction) apparatus

franz.: appareils de réactions

Lit.: Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, 3. Aufl., München-Berlin, 1951, Bd. 1: Chemischer Apparatebau und Verfahrenstechnik. [2]

Reaktionsgeschwindigkeit zur Trennung von Isotopen. Wenn an einer chemischen Reaktion isotope Moleküle teilnehmen, ist die Reaktionsgeschwindigkeit des leichten Moleküls verschieden von der des schweren, da erstens die Stoßzahlen verschieden sind und zweitens die verschiedenen Nullpunktsenergien in den die Aktivierungsenergie enthaltenden Stoßausbeutefaktor eingehen. Beträchtliche Anreicherungen lassen sich nach dem Restprinzip erzielen; das Reaktionsprodukt kann in die Ausgangsstoffe zurückgeführt und einem Vervielfachungsverfahren unterworfen werden. [14]

engl.: reaction rate

franz.: vitesse de réaction

Reaktivität ϱ ist jene Größe, die die Abweichung eines Reaktors vom kritischen Zustand beschreibt. Die Definition der R. ist

$$\varrho = \frac{k-1}{k} \tag{1}$$

(k effektiver Multiplikationsfaktor).

Wenn $k = 1$, ist $\varrho = 0$. Gemäß der Definition von k ist der Reaktor kritisch. Ist $k > 1$, $\varrho > 0$ steigt der Neutronenfluß an. Für einen prompt-überkritischen Reaktor ($k > 1{,}0064$) ist der Anstieg ungeheuer steil und kaum regelbar. Er erfolgt gemäß

$$\Phi = \Phi_0 \cdot e^{-\varrho t/l}, \tag{2}$$

wobei l die *Generationsdauer der prompten Neutronen ist ($\approx 10^{-4} \ldots 10^{-3}$ s). Für $\varrho = 0{,}01$ und $l = 10^{-3}$ s vermehrt sich der Neutronenfluß in 1 s auf das e^{10}-fache $= 2 \cdot 10^4$-fache. Diejenige Zeit, die verstreicht, bis sich der Fluß um den Faktor e ändert, nennt man *Reaktorperiode oder Reaktorzeitkonstante T. Es ist im Fall der Gleichung (2)

$$T = \frac{l}{\varrho} \approx \frac{1}{10}\,\mathrm{s}. \tag{3}$$

Analog definiert man eine Verdopplungszeit

$$T_D = \frac{T}{\ln 2} = \frac{l}{\varrho \ln 2}.$$

Weiteres s. prompt-kritisch. Mitunter bezieht man die Reaktivität auf die reziproke *Stunde (ih) oder den Dollar (s. Cent). [7]

engl.: reactivity *franz.: réactivité*

Reaktivitätsbilanz, Vergleich der während des normalen Reaktorbetriebes auftretenden Reaktivitätsänderungen mit den zur Verfügung stehenden Überschuß- und Abschaltreaktivitäten. Die wichtigsten Anteile des normalen Reaktivitätsbedarfs sind: Temperatureffekte, Vergiftungen, Abbrand sowie Reserven für die minimalen Reaktivitätsverminderungen durch die Trimm- und Regelorgane und evtl. besondere Einbauten. Bei guter Dimensionierung werden diese Anteile gerade von der Überschußreaktivität des neu installierten Reaktors gedeckt. Der zugehörige Steuerhub für die um 1 verminderte Gesamtzahl aller Abschaltorgane muß dann noch mindestens 3 % größer sein als die Überschußreaktivität, damit jederzeit eine ausreichende Abschaltwirkung gewährleistet ist und ein einzelnes Abschaltorgan gefahrlos ausgewechselt werden kann. [9]

engl.: reactivity balance *franz.: bilan de réactivité*

Lit.: M. A. Schultz, Control of Nuclear Reactors and Power Plants, McGraw-Hill, New York, 1955.

Reaktivitätsdichte, s. Reaktor-Störungsrechnung.

engl.: multiplication density

franz.: densité de la réactivité

Reaktivitätskoeffizienten, s. Reaktor-Störungsrechnung.

engl.: reactivity coefficients

franz.: coefficients de la réactivité

Reaktivitäts-Oszillationen. Es gibt zwei Grundtypen von Experimenten, bei denen R.-O. hervorgerufen werden. Es kann sich einerseits um einen *Oszillator-Versuch handeln, bei dem Querschnitte einer in den Reaktor eingebrachten und in ihm hin- und herschwingenden Probe gemessen werden sollen. Die R.-O. kommen dabei dadurch zustande, daß die Einflußfunktion eines lokalen Absorbers im Reaktor

von seiner Lage abhängt. Man kann andererseits (etwa durch Bewegen von Regelstäben) die Reaktivität oszillieren, um die *„Übertragungsfunktion“ des Reaktors kennenzulernen (*engl.: parametrical forcing*). Diese Funktion erlaubt es, das dynamische Verhalten eines Reaktors im Rahmen eines Last- und Regelsystems beurteilen zu können.

Bei kleinen R.-O. um den kritischen Zustand des Reaktors geht man aus von den *kinetischen Gleichungen des Reaktors (Gl. 2) und setzt

$$n(t) = n_0 + n_1(t)\,;\;\; c_i(t) = c_{0i} + c_{i1}\,, \qquad (1)$$

wobei n_1 und c_{i1} als klein gegenüber den stationären Werten aufzufassen sind. Man erhält

$$\frac{dn_1}{dt} = \frac{1}{l^*}\,(\varrho\, n_0 - \beta\, n_1) + \sum_{i=1}^{m} \lambda_i\, c_{i1}$$

$$\frac{dc_{i1}}{dt} = \beta_i\,\frac{n_1}{l^*} - \lambda_i\, c_{i1}\,. \qquad (2)$$

Die aufgezwungene Reaktivität sei durch $\varrho = R\,e^{j\omega t}$ gegeben. Ferner setzen wir $n_1 = N\,e^{j\omega t}$ und $c_{i1} = C_i\,e^{j\omega t}$. Wenn R nicht zu groß ist, bleiben n_1 und c_{i1} in der Tat klein, da ja auf jede Halbwelle, die zu einem Anwachsen von $n(t)$ führt, wieder eine Halbwelle negativer Reaktivität folgt, die $n(t)$ wieder zurückführt. Voraussetzung ist, daß die Frequenz ω nicht zu klein ist. Mit den eben gegebenen Definitionen folgt aus der kinetischen Gleichung die (komplexe) Beziehung

$$\frac{N}{R} = \frac{n_0}{j\,\omega\left(l^* + \sum\limits_i \dfrac{\beta_i}{j\,\omega + \lambda_i}\right)} =$$

$$= \frac{n_0}{j\,\omega\, l^*}\,\frac{\prod\limits_{i=1}^{m} (j\,\omega + \lambda_i)}{\prod\limits_{i=1}^{m} (j\,\omega + \alpha_k)}\,. \qquad (3)$$

Die α_k sind durch die beiden rechtsstehenden Ausdrücke definiert. Die Übertragungsfunktion N/R ist in

Abb. 1 und 2, aufgespalten in Amplitudenverhältnis und Phasenverschiebung, dargestellt.

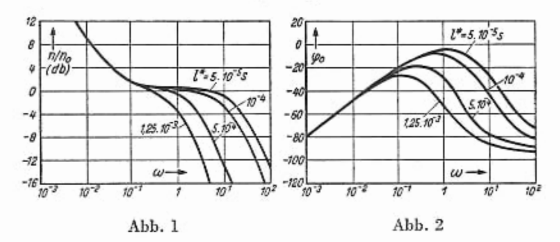


Abb. 1 Abb. 2

R.-O. kann man auch in einer u n t e r k r i t i s c h e n Anordnung hervorrufen. Durch Einsetzen von (1) und $k(t) = k_0 + k_1(t)$ mit $k_1 = K\,e^{j\omega t}$, gehen die *kinetischen Gleichungen, wenn man nur e i n e Gruppe verzögerter Neutronen berücksichtigt, über in

$$\frac{N}{K} = n_0 \frac{1 - \beta - \dfrac{\beta\lambda}{j\omega + \lambda}}{1 - (1-\beta)k_0 + j\omega l - \dfrac{k_0 \lambda \beta}{j\omega + \lambda}} . \quad (4)$$

Abb. 3 und 4 geben das daraus resultierende Amplitudenverhältnis und die Phasenverschiebung wieder.

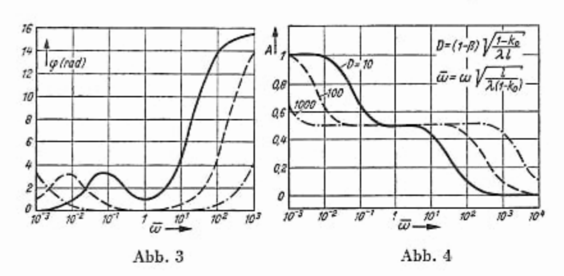


Abb. 3 Abb. 4

Ist die Frequenz der aufgezwungenen Schwingung klein, so vermag der unterkritische Reaktor der Reaktivitätsänderung unmittelbar zu folgen, das Amplitudenverhältnis geht gegen 1 und die Phasenverschiebung gegen 0. Bei hoher Frequenz vermag der Reaktor (wegen des Nachhinkens der verzögerten Neutronen)

nicht mehr zu folgen, das Amplitudenverhältnis geht gegen 0 und die Phasenverschiebung gegen $\pi/2$. [13]

engl.: reactivity oscillations

franz.: fluctuations de réactivité

Lit.: M. A. Schultz, Control of Nuclear Reactors and Power Plants, McGraw-Hill, London, 1955. – S. Glasstone, Principles of Nuclear Reactor Engineering, Macmillan, London, 1956.

Reaktivitäts-Rampe, s. Reaktorkinetik.

engl.: ramp change of reactivity

franz.: montée de réactivité, rampe de r.

Reaktivitätsrauschen, unregelmäßige, natürliche Schwankungen der Reaktivität eines Reaktors durch Temperaturschwankungen und mechanische Erschütterungen. Die wichtigsten Ursachen für das R. sind: a) statistische Temperaturänderungen durch Unregelmäßigkeiten der Geschwindigkeit und Strömungsform des Kühlmittels, b) Druckänderungen bzw. Dichteschwankungen bei Reaktoren mit siedendem oder annähernd siedendem Kühlmittel, c) mechanische Schwingungen zwischen einzelnen Strukturbestandteilen (Brennstoffelementen, Führungshülsen, Moderatorstücken) der Spaltzone und des Reflektors, d) Schwingungen der Steuerorgane, insbesondere der aus Sicherheitsgründen nur lose geführten Trimmabschaltorgane, in ihren Führungshülsen, e) Schwankungen experimenteller Einbauten, Bestrahlungsproben und Prüfkreisläufe, f) Schwingungen der Oberfläche eines flüssigen Moderators bei Moderatorspiegeltrimmung.
Die Aufteilung auf die Teileffekte hängt stark vom Reaktortyp ab. Forschungsreaktoren sind besonders gegen a), d), e) und evtl. f) empfindlich, Leistungsreaktoren dagegen überwiegend gegen b), c) und f). Im allgemeinen beträgt die Summe aller Anteile des R. bei Frequenzen zwischen 10^{-2} und 10^{2} Hz nicht mehr als etwa 10^{-6} bis 10^{-5}. S. a. Leistungsrauschen. [9]

engl.: reactivity noise *franz.: bruit de réactivité*

Reaktivitäts-Sprung, s. Reaktorkinetik.

engl.: prompt jump of reactivity

franz.: variation brusque de réactivité, saute de réactivité, à-coup de réactivité

Reaktivitätssteuerung, Steuerverfahren zur willkürlichen Veränderung des Vermehrungsfaktors k bzw.

der Reaktivität $\varrho = (k - 1)/k$. Grundsätzlich kann man unterscheiden zwischen a) homogener R. mit Änderung des effektiven k_∞ und b) heterogener R. mit Änderung der Randbedingungen bzw. des Ausflußfaktors k_{geo}.
In der Praxis wird a) gelegentlich näherungsweise durch viele gleichmäßige heterogene Steuereingriffe (z. B. Absorberverstellungen) verwirklicht. Echte homogene Steuerungen entstehen dagegen bei Änderungen der mittleren Temperatur der Spaltzone oder ihres physikalisch-chemischen Zustandes (geänderte Eingangstemperatur des Kühlmittels, Konzentrationsänderung des Moderators oder Kühlmittels, Dichteänderungen des Dampfes oder der Schutzgasatmosphäre).
Rein heterogene R. werden durch Volumenänderungen wie Moderatorspiegelsteuerung bei thermischen Reaktoren, Reflektorverstellungen bei schnellen Reaktoren, Reflektorabschattungen mit Absorberplatten zwischen Spaltzone und Reflektor erzielt.
Die Steuerungen mit Absorberstäben oder -armen und mit Brennelementbewegungen (kombinierte Brennstoff-Absorberelemente) sind je nach der Zahl der Elemente und dem Steuerverfahren (Einzel- oder Parallelbetrieb) als homogene oder heterogene R. anzusprechen.
Für quantitative Berechnungen gelten in beiden Fällen sinngemäße Abwandlungen der üblichen theoretischen Methoden zur Berechnung der Reaktorstrukturen. [9]
engl.: reactivity control franz.: réglage de réactivité
Lit.: s. Abschalten.

Reaktor. 1. Obwohl diese Bezeichnung vorzugsweise für Kernspaltungsreaktoren verwendet wird, findet man sie auch (in zunehmendem Maße) als Namen für *Reaktionsapparate in der chemischen Industrie (z. B. bei Reaktionsgefäßen in der Wasseraufbereitung, s. Apparatebau). Obwohl Verwechslungen i. a. ausgeschlossen sind, muß man doch in der angelsächsischen Literatur auf den Doppelsinn achten. [2]
2. Ein R. ist eine Vorrichtung, in der eine sich selbst unterhaltende Kernkettenreaktion abläuft. Die meisten R.n enthalten eine spaltbare Substanz und einen Moderator. Davon weichen nur die schnellen R.n ab. Sie

haben durchweg einen Reflektor, um das Abwandern der Neutronen möglichst zu reduzieren. Zur Abführung der erzeugten Wärme dient ein Kühlsystem. Schließlich ist eine Steuer- und Regeleinrichtung notwendig.
Ein R. wird gelegentlich auch noch Uranbrenner genannt. Doch hat sich die Bezeichnung R. jetzt allgemein durchgesetzt. – R.n können nach den verschiedensten Gesichtspunkten klassifiziert werden. Man unterteilt

a) nach dem verwandten Brennstoff: Uran-R. (angereichert oder Natururan) und Plutonium-R., R.n mit festem oder flüssigem Brennstoff,

b) nach dem Moderator: Graphit-R., Schwerwasser-R., Leichtwasser-R.,

c) nach dem Kühlsystem: wassergekühlter R., *Druckwasser-R., *Siedewasser-R., gasgekühlter R., Natrium-Graphit-R. (Kühlung mit flüssiger Natrium-Kalium-Legierung),

d) nach der Struktur: heterogener R., homogener R.,

e) nach dem zur Spaltung ausgenützten Energiebereich der Neutronen: thermischer R., mittelschneller R., schneller R.,

f) nach der Verwendung: Forschungs-R., Leistungs-R., Prüf-R., Zweizweck-R.,

g) nach dem Grad der Gewinnung neuen Spaltstoffs: Konverter, Brüter.

Näheres s. Reaktortabellen im Anhang, ferner FR II, FRF, FRM, PWR, MTR, FRED, Calder Hall Typ. [7]

engl.: reactor

franz.: 1. *appareils de réaction*
2. *réacteur, pile*

Lit.: W. Riezler u. W. Walcher, Kerntechnik, B. G. Teubner, Stuttgart, 1958. – F. Cap, Physik und Technik der Atomreaktoren, Springer, Wien, 1957.

Reaktor, adjungierter, s. Einflußfunktion.

engl.: adjoint reactor *franz.: réacteur adjoint*

Reaktor, epithermischer. Bei einem solchen R. wird ein Teil der Neutronen (ungefähr 30 bis 40 %) Spaltungen oberhalb des thermischen Bereichs ausführen. [7]

engl.: epithermal reactor

franz.: réacteur à neutrons épithermique

Reaktor, heißkritischer, Reaktor, dessen Reaktivitätssteuerung so eingestellt ist, daß die bei Vollast auftretenden negativen Temperatur- und Vergiftungseffekte gerade kompensiert werden. Der Begriff ist wegen der unvermeidlich hinzukommenden langdauernden Vergiftungseffekte nicht eindeutig und muß deshalb von Fall zu Fall genau definiert werden. [9]
engl.: hot critical reactor
franz.: réacteur critique à chaud
Lit.: M. A. Schultz, Control of Nuclear Reactors and Power Plants, McGraw-Hill, New York, 1955.

Reaktor, heterogener. Brennstoff und Moderator sind getrennt. Der Brennstoff ist in *Brennstoffstäben oder komplizierter gebauten *Brennstoffelementen enthalten, die von dem Kühlmittel umspült werden. Die Brennstoffelemente sind in einer regelmäßigen Weise angeordnet, so daß eine Zellenstruktur entsteht (s. Zelle). Die heterogene Anordnung reduziert den Resonanzeinfang der Neutronen bei thermischen R.n. [7]
engl.: heterogeneous reactor
franz.: réacteur hétérogène

Reaktor, homogener. Brennstoff und Moderator sind homogen miteinander vermischt, meist als Lösung von Uranylsulfat in leichtem oder schwerem Wasser. Als Forschungsreaktoren mit einer Leistung bis $\sim$ 50 kW sind sie bewährt (s. FRB, FRF, HRE, Supo). Bei Leistungsreaktoren bringt die Korrosion durch die heiße Uranylsalzlösung Schwierigkeiten, die bisher nicht gelöst werden konnten (s. HRT). [7]
engl.: homogeneous reactor
franz.: réacteur homogène

Reaktor, jungfräulicher, ein Reaktor, der keine durch Kernspaltungen induzierten radioaktiven Substanzen und Reaktorgifte enthält. De facto kann in einem j. R. niemals eine Kettenreaktion merklicher Intensität abgelaufen sein. Der Term wird beim Verkauf von Reaktoren im Zusammenhang mit der Garantie gebraucht. [7]
engl.: cold clean reactor *franz.: pile vierge*

Reaktor, keramischer, Bezeichnung für einen Reaktor, bei dem Brennstoff und Moderator aus hochtemperaturbeständigen keramischen Materialien bestehen,

z. B. Metalloxyden, -karbiden und -nitriden. S. a. Hochtemperatur-Reaktor. [24]

engl.: ceramic reactor *franz.: réacteur ceramique*

Reaktor, metallgekühlter, Bezeichnung für Einteilung von Kernreaktoren nach Art des verwendeten Kühlmittels: Bei diesem Typ dienen Metalle im flüssigen Zustand zur Wärmeabführung, wobei vor allem Natrium und daneben Wismut in Erwägung gezogen wird. [24]

engl.: metal-cooled reactor

franz.: réacteur à refroidissement par métaux fondus

Reaktor mit Salzschmelzen, s. Salzschmelzen-Reaktor.

engl.: molten salt reactor

franz.: réacteur à bain de sel, r. à sels fondus

Reaktor, mittelschneller. Die Spaltungen sind zu noch höheren Energien als beim epithermischen R. verschoben. Dagegen spielt die Spaltung bei der Energie, mit der die Neutronen entstanden sind, keine Rolle. Für die Spaltung kann etwa der Energiebereich von 0,5 bis 10^5 eV als charakteristisch angesehen werden. In diesem Bereich liegen gerade die großen Resonanzquerschnitte. Natürlich darf eine in diesem Bereich stark neutronenabsorbierende Substanz nicht anwesend sein. Daher muß reines spaltbares Material, insbes. frei von Uran 238, verwendet werden. [7]

engl.: intermediate reactor

franz.: réacteur à neutrons de vitesse intermédiaire

Reaktor, negativer, s. Bildreaktor.

engl.: negative reactor *franz.: réacteur négatif*

Reaktor, schneller. Beim s. R. werden die Spaltungen bevorzugt durch schnelle Neutronen ausgeführt. Ein Moderator ist nicht vorhanden. Die Bremsung, die die Neutronen erfahren, erfolgt durch unelastische Streuung am Brennstoff. Die Neutronen sollten nicht unter 10^5 eV abgebremst werden, meist werden 0,3 bis 0,5 MeV als untere Grenze angegeben (Schwellenenergie für die Spaltung des Urans 238). Da die Absorption bei hohen Energien durchweg sehr klein ist, ist die Neutronenökonomie eines schnellen R. günstig. Die Verluste bestehen fast nur im *Neutronenausfluß durch die Oberfläche. Daher ist ein s. R. ein idealer Brüter.

Dazu hat man den Kern des s. R.s mit brütbarer Substanz zu bekleiden. – Ein s. R. kann nicht mit Uran 238 betrieben werden. [7]

engl.: fast reactor franz.: réacteur à neutrons rapides

Reaktor, thermischer, arbeitet ganz überwiegend mit thermischen Neutronen. Die meisten R.n sind th. R.n. Bei thermischen Energien ist der Spaltquerschnitt am größten. Daher ist die Neutronenökonomie bei Einbeziehung dieses Energiebereichs in der Regel am günstigsten. Es besteht die Aufgabe, die bei der Spaltung entstehenden, energiereichen Neutronen unter möglichst geringen Verlusten auf thermische Energien abzubremsen. Dazu dient der Moderator (s. Bremsung). Die Verluste während des Bremsvorgangs werden vor allem durch den Resonanzeinfang des Urans 238 bewirkt. [7]

engl.: thermal reactor

franz.: réacteur à neutrons thermiques, r. thermique

Reaktoraktivierung, s. Pile-Aktivierung.

Reaktoranlage. Der Betrieb von Kernspaltungsreaktoren ist mit der Erzeugung von Wärme, Strahlung und radioaktiven Isotopen verbunden. Der Verwendungszweck bestimmt die vorwiegende Nutzung eines dieser Produkte. Die Hilfsanlagen und die Sicherheitsvorrichtungen der Reaktoren müssen jedoch auch den Nebenprodukten Rechnung tragen.

Es sind daher folgende R.n zu unterscheiden:

1. Forschungsreaktoren einschließlich Prüfreaktoren, typische Vertreter: NRU (Kanada), MTR (USA), DIDO (England).
2. Plutonium-Produktionsreaktoren, typische Vertreter: Hanford (USA), Windscale (England), Marcoule (Frankreich).
3. Leistungsreaktoren. Erstanlagen eines Typs werden zunächst als Versuchswerke ausgeführt. Typische Vertreter: *Calder Hall (England), *PWR (Shippingport und „Nautilus"), BWR und Natrium-Graphit-Reaktor (USA), schnelle Brüter: Enrico Fermi-Reaktor (USA), Dounreay (England).

An jede R. sind sehr scharfe Sicherheitsforderungen zu stellen. Dies und die neu zu entwickelnde Technik

mit neuartigen Werkstoffen bedingt die zur Zeit hohen Kosten derartiger Anlagen. S. a. Leistungsreaktoranlage. [8, 21]
engl.: reactor plant
franz.: installation atomique, station nucléaire, centrale atomique

Reaktorbetrieb, kontinuierlicher. Im Gegensatz zum *Chargenbetrieb erfolgt beim k. R. laufende Zufuhr von frischem Brennstoff und laufender Entzug von verbrauchtem Brennstoff. Die Zufuhr- bzw. Entzugsrate (in kg/h) steht dabei in einem bestimmten Verhältnis zur Erstausstattung des Reaktors. Beim homogenen Reaktor mit flüssigem Brennstoff kann man den Betrieb tatsächlich kontinuierlich gestalten, beim heterogenen Reaktor mit festem Brennstoff nur quasi-kontinuierlich, indem man laufend neue Elemente bzw. Teilelemente einsetzt und ausgebrannte entfernt. Beim Reaktor mit flüssigem Brennstoff kommt es durch Wärmeströmungen, Umwälzen usw. zur gründlichen Durchmischung des Reaktorinhalts. Beim heterogenen kann man durch oftmaliges Umsetzen der Elemente einen ähnlichen Effekt erzielen. Der Vorteil der gründlichen Durchmischung besteht darin, daß auch bei stark ortsabhängigem Fluß ein gleichmäßiger Abbrand in allen Elementen erreicht werden kann. Durch diesen „homogenen Abbrand" erhöht sich die Reaktivitäts-Lebensdauer etwa um das Doppelte gegenüber einem Reaktor mit unbeweglichen Elementen, bei dem der Abbrand im Zentrum am größten ist, und sich dort auf die Reaktivität besonders stark auswirkt. Beim k. R. erhöht sich die Reaktivitäts-Lebensdauer auch dadurch, daß für sie nicht mehr die *Überschuß-Reaktivität des zentralen Stabes maßgebend ist, sondern die durchschnittliche Überschuß-Reaktivität. Schließlich braucht beim k. R. die im Hinblick auf den Abbrand eingebaute Reaktivität nicht so groß zu sein, wie beim Chargenbetrieb, da dauernd neuer Brennstoff zugeführt wird.
Diesen entscheidenden Vorteilen des k. R.s steht beim heterogenen Reaktor mit festen Brennstoffelementen die Schwierigkeit gegenüber, die Elemente unter Betriebsbedingungen zu handhaben. Es müsse Greifer-

mechanismen vorgesehen, das Druckgefäß größer gehalten und Schleusen für Zu- und Abfuhr von Elementen eingebaut werden.
Für den k. R. ist der *Beschickungsplan von grundlegender Bedeutung. Dies ist der Plan, nach dem Brennstoffelemente in den hochbeanspruchten Reaktor eingesetzt, herausgenommen und umgestellt werden. Der einfachste Beschickungsplan liegt vor beim *Chargenbetrieb, bei dem keinerlei Umstellungen während des Betriebs vorgenommen werden. Am kompliziertesten ist ein Beschickungsplan, wenn durch kontinuierliches Umsetzen und Auswechseln der Brennstoffelemente während des Betriebs (wie z. B. beim fortgeschrittenen *Calder-Hall-Typ, s. Anhang) ein möglichst gleichmäßiger und hoher Abbrand erreicht werden soll. [12, 13, 21]
engl.: continuous irradiation; continuous process
franz.: charges continues, procédé continu, fournees continues

Reaktorcharge oder **Beschickung** ist die Menge Brennstoff in einem Reaktor, die zu dessen Betrieb benötigt wird. [7]
engl.: charge

Reaktordynamik beschreibt das zeitabhängige Verhalten eines Reaktors. Dahin gehört zunächst die Entwicklung eines Verfahrens zur Berechnung der Auswirkungen von Störungen im k_{eff} auf den Neutronenfluß und damit den Leistungspegel. Wesentliches Hilfsmittel ist die *Einflußfunktion, mit deren Hilfe die Orts-, Energie- und zeitabhängige Neutronendichte in eine nur zeitabhängige Funktion umgeschrieben werden kann. Es ist möglich, eine *Störungstheorie zu entwickeln, die die Auswirkungen einer Veränderung der Quellen und Senken an einem beliebigen Ort mit Hilfe der Flußfunktion und der Einflußfunktion des ungestörten Problems auf k_{eff} zu berechnen gestattet. Kennt man k_{eff} in Funktion der Zeit, kann man den Flußverlauf in Funktion der Zeit berechnen, u. U. mit Hilfe von Simulatoren oder Analogierechnern.
Die R. studiert die Auswirkung von Temperaturschwankungen, von Schwankungen im Energieentzug, die Folgen des Abbrands des Spaltstoffs und der Bildung von

Reaktorgiften. Außerdem sind die mit dem Anfahren und Abschalten zusammenhängenden Erscheinungen zu berechnen. [7]

engl.: reactor dynamics

franz.: dynamique des réacteurs

Lit.: Reactor Handbook, Physics, McGraw-Hill, New York, 1955. – F. Cap, Physik und Technik der Atomreaktoren. Springer, Wien, 1957. – H. Grümm u. K. H. Höcker, Reaktorkinetik und Störungsrechnung, Erg. ex. Nat. 30, Springer, Berlin, 1958. – R. L. Murray, Nuclear Reactor Physics, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1957. – S. Glasstone and M. C. Edlund, Elements of Nuclear Reactor Theory, van Nostrand, New York, 1955. – Ch. F. Bonilla, Nuclear Engineering, McGraw-Hill, New York, 1957. – R. L. Murray, Nuclear Engineering, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1954. – A. S. Thompson and O. E. Rodgers, Thermal Power from Nuclear Reactors, Wiley and Sons, New York, 1957.

Reaktorfahrer (Operateur), besonders ausgebildete und geprüfte Person zur laufenden Bedienung und Überwachung eines Reaktors. Die R. sind im allgemeinen nur für die reinen Routinemaßnahmen wie Starten, Abschalten und Steuern im normalen Betrieb, Überwachen und Steuern der normalen Kreislaufoperationen, Kontakthaltung zwischen Experimentatoren und Schaltwarte, Be- und Entladung von Brennstoffelementen und Steuerorganen u. dgl., nicht aber für Wartung einzelner Teile (Meß-, Steuer- und Schaltgeräte, Kreislaufelemente wie Ventile, Filter etc.) verantwortlich. Eine Schicht umfaßt bei Forschungsreaktoren z. Z. drei bis fünf Fahrer, an deren Spitze ein Cheffahrer *(engl.: supervisor)* steht. [9]

engl.: operator

franz.: opérateur

Reaktorfaktor, s. Pile-Faktor.

Reaktorfrequenzgang, s. Frequenzgang.

Reaktorgefäß. Diese Bezeichnung wird sowohl für das *Druckgefäß des eigentlichen Reaktors als auch für *Sicherheitsbehälter gebraucht, welche den gesamten Betriebsraum der Reaktoranlage umschließen. [8]

engl.: reactor vessel

franz.: cuve, caisson du réacteur

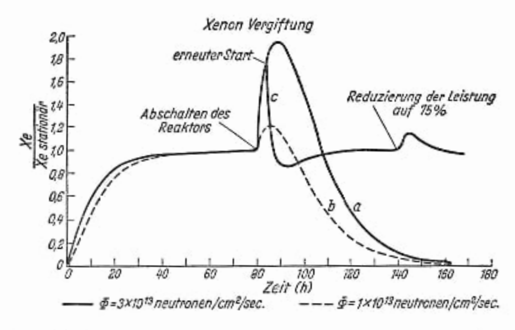
Reaktorgifte nennt man jene Substanzen mit großem Absorptionsquerschnitt, die Neutronen in unerwünschter Weise absorbieren. Dahin gehört z. B. die stets vorhandene Beimischung von Bor (thermischer Absorptionsquerschnitt $\sigma_a = 755 \cdot 10^{-24}\ \mathrm{cm}^2$) in Gra-

phit ($\sigma_a = 0{,}0032 \cdot 10^{-24}\,\mathrm{cm}^2$). Graphit ist als Moderator erst brauchbar, wenn es weniger als $^1/_{1000}$ ‰ Bor enthält. Ähnlich verhält es sich mit dem für die Einhülsung von metallischen Stäben sehr geeigneten Zirkon. Von diesem ist Hafnium nur schwer abzutrennen. Hafnium absorbiert thermische und epithermische Neutronen mit einem Wirkungsquerschnitt bis zu $10\,000 \cdot 10^{-24}\,\mathrm{cm}^2$, während der Absorptionsquerschnitt des Zirkon für thermische Neutronen nur $0{,}18 \cdot 10^{-24}\,\mathrm{cm}^2$ beträgt. Bor und Hafnium werden daher als R. bezeichnet.

Große Neutronenabsorption haben auch einige der bei der Kernspaltung entstehenden Elemente oder ihre Zerfallsprodukte. Ist der Reaktor längere Zeit im Betrieb, so können sich die Gifte so stark anhäufen, daß die Kettenreaktion zum Erliegen kommt. Man bezeichnet den Reaktor dann als „vergiftet".

Das am stärksten erscheinende Gift ist das Isotop $^{135}\mathrm{Xe}$. Bei 0,3 % der Spaltungen entsteht es als direktes Spaltprodukt, bei 5,6 % jedoch über folgende Zerfallsreihe:

$$^{135}\mathrm{Te} \xrightarrow{2\,\mathrm{min}} {}^{135}\mathrm{J} \xrightarrow{6{,}68\,\mathrm{h}} {}^{135}\mathrm{Xe} \xrightarrow{9{,}13\,\mathrm{h}} {}^{135}\mathrm{Cs} \xrightarrow{2{,}6 \cdot 10^4\,\mathrm{a}} {}^{135}\mathrm{Ba}\ (\mathrm{stabil})\ .$$



Eine Abnahme des Neutronenflusses (nach Abschalten bzw. Teillast) führt wegen des Rückgangs in der Bildung von Xe 136 zu einem Anstieg der Xe 135-Konzentration und damit zu einem Reaktivitätsverlust, der (Kurve *a* und *b*) für $\Phi > 10^{13}$ und Totalabschaltung beträchtliche Werte erreicht. Wird die Reaktorleistung nur verkleinert, so ist der Reaktivitätsverlust geringer.

Reaktorgifte Ist der Reaktor einige Zeit stationär im Betrieb, so stellt sich eine Gleichgewichtskonzentration des Xenons ein, d. h. es entsteht genau so viel Xenon, wie durch Neutroneneinfang und radioaktiven Zerfall vernichtet wird. Nach dem Abschalten des Reaktors steigt jedoch die Xenonkonzentration an, um nach etwa 12 h ein Maximum zu erreichen, das bei hohen Flüssen bis zum zehnfachen der Gleichgewichtskonzentration betragen kann, s. Abb. Dies rührt daher, daß die Muttersubstanz des ^{135}Xe, das ^{135}J, schneller zerfällt, als das ^{135}Xe (s. oben) durch Zerfall und Abbau infolge Neutroneneinfang bei abgeschaltetem Reaktor wegfällt. Die Xenonvergiftung bestimmt daher die Möglichkeit des Anfahrens nach kurzzeitigem Abschalten des Reaktors entscheidend. Sie kann dies bei zu kleiner eingebauter Reaktivität für viele Stunden unmöglich machen.

Ganz ähnlich wirkt die Samariumvergiftung. Da das entstehende Samariumisotop stabil ist, treten einige kleine Änderungen im Verhalten auf. Wegen der kleineren Wirkungsquerschnitte des Sm ist ihr Einfluß gewöhnlich nicht so groß. Die wichtigsten R. sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Gift	Rel. Häufigkeit * %	σ_a für thermische Neutronen
^{135}Xe	5,9	$(2{,}7 \pm 0{,}3) \cdot 10^6 \cdot 10^{-24}$ cm^2
^{149}Sm	1,3	$(6{,}82 \pm 0{,}08) \cdot 10^4$
^{151}Sm	0,445	$(7 \pm 2) \cdot 10^3$
^{155}Eu	0,03	$(1{,}4 \pm 0{,}4) \cdot 10^4$
^{157}Gd	0,015	$(1{,}6 \pm 6) \cdot 10^5$

* bezogen auf eine Spaltung

Eine weitere Wirkung der Gifte besteht in der Begrenzung der Lebensdauer der Brennstoffelemente. Im Laufe der Zeit sammeln sich die Endprodukte aus den Zerfallsreihen und die durch Neutronenabsorption daraus entstandenen Kerne mehr und mehr an. Zur Zeit gilt es als gute Leistung des Reaktors, wenn 3000 MWd je Tonne Uran gewonnen werden können, obwohl dann erst 0,3 % des Urans (^{235}U + ^{238}U) ge-

spalten worden sind. Viele Reaktoren brennen ihre Elemente nur bis 1000 MWd je Tonne U ab. Danach werden sie gegen neue ausgetauscht.
Das Problem der Entfernung der Gifte ist für die Wirtschaftlichkeit der Kernenergie von großer Bedeutung, s. Kernbrennstoffaufbereitung. [7, 21]
engl.: reactor poisons *franz.: poisons du réacteur*
Lit.: s. Reaktortheorie.

Reaktorgleichung heißt jede Gleichung, die das stationäre oder zeitabhängige Verhalten eines Reaktors bestimmt. Da die Methoden zur Beschreibung des Reaktorverhaltens wechseln, erscheint die R. in den verschiedensten Formen. Die einfachste R. ist die zeitunabhängige Diffusionsgleichung des *Eingruppenmodells, meist formuliert unter Berücksichtigung der Fermischen Alterstheorie. Kompliziertere R. liefert die *Gruppendiffusionsmethode (s. R. in Diffusionsnäherung). Die allgemeinste Formulierung erfolgt auf der Grundlage der Transporttheorie, s. R., allgemeine. [7]
engl.: reactor equation
franz.: équation du réacteur

Reaktorgleichung, adjungierte, s. Einflußfunktion.
engl.: adjoint reactor equation
franz.: équation du réacteur adjointe

Reaktorgleichung, allgemeine, nennt man eine umfassende Neutronenbilanz des Kernreaktors. Es handelt sich dabei um eine erweiterte *Boltzmann-Gleichung, in der die Erzeugung von prompten und verzögerten Neutronen durch Spaltungsakte berücksichtigt ist. Die a. R. kann in der Form

$$\frac{\partial N}{\partial t} = (1-\beta)\,\boldsymbol{J}_0 N - \boldsymbol{K} N + \frac{1}{4\pi}\sum_{i=1}^{m} \lambda_i f_i C_i + Q$$

$$f_i \frac{\partial C_i}{\partial t} = 4\pi \beta_i \boldsymbol{J}_i N - \lambda_i f_i C_i$$

geschrieben werden. Unter N ist die Neutronendichte $N(\mathfrak{r}, t, E, \vec{\Omega})$ zu verstehen, $C_i(\mathfrak{r}, t)$ ist die Konzentration der *Mutterkerne von verzögerten Neutronen der i-ten Gruppe, $Q(\mathfrak{r}, t, E, \vec{\Omega})$ ist eine äußere Neutronen-

quelle. Mit β_i sind die Anteile der verzögerten Neutronen aus der i-ten Gruppe, bezogen auf eine Spaltung, bezeichnet $(\beta = \sum_{i=1}^{m} \beta_i)$, mit λ_i die zugehörigen Zerfallskonstanten. Unter $f_i(E)$ sind die *Energiespektren der Neutronen zu verstehen (der Index 0 bezieht sich auf die prompten Neutronen, die Indizes 1, 2, ... auf die verzögerten).

Das erste Glied auf der rechten Seite der oberen Gleichung stellt den sekundlichen Neutronengewinn dar, wobei der Operator $\boldsymbol{J}$ durch

$$\boldsymbol{J}_k = \frac{1}{4\pi} f_k(E) \int_0^\infty \int_\Omega \mathrm{d}E' \, \mathrm{d}\vec{\Omega}' \, \nu(E') \Sigma_f(E') v'$$

definiert ist (ν Vermehrungszahl pro Spaltung, Σ_f makroskopischer Spaltquerschnitt, v' Neutronengeschwindigkeit). Das zweite Glied erfaßt die Absorptionsverluste und Streuvorgänge. Der Operator $\boldsymbol{K}$ ist durch

$$\boldsymbol{K} = \Omega v \cdot \mathrm{grd} + v(\Sigma_e + \Sigma_f + \Sigma_s + \Sigma_i) - \\ - \int_0^\infty \int_\Omega \mathrm{d}E' \, \mathrm{d}\vec{\Omega}' (\Gamma_s + \Gamma_i)$$

gegeben. Unter Γ_s und Γ_i sind die differentiellen Streuquerschnitte für elastische bzw. inelastische Streuung zu verstehen. Das dritte Glied mißt den Beitrag der verzögerten Neutronen, das vierte den der äußeren Quelle.

Die zweite Gleichung stellt eine Bilanz für die Mutterkerne dar. Das erste Glied erfaßt die Erzeugung, das zweite den Zerfall von Mutterkernen. Das zweite Glied tritt in der ersten Gleichung als Neutronengewinn auf.

Die a. R. ist unter folgenden Rand- und Anfangsbedingungen zu lösen. Die Dichte N muß im ganzen Reaktorvolumen stetig, endlich und positiv sein. An einer Grenze gegen das Vakuum darf kein Neutronenstrom gegen das Reaktorinnere auftreten. Ferner müssen N und C_i für den Zeitpunkt $t = 0$ vorgegeben werden.

Ist der Reaktor stationär (kritisch), so verschwin-

den die Zeitableitungen und die a. R. für $N(\mathfrak{r}, E, \vec{\Omega})$ lautet $(J - K)N + Q = 0$.

Bezüglich der Lösung der a. R gilt das unter Boltzmann-Gleichung gesagte. Die wichtigste Näherungsgleichung ist die *Reaktorgleichung in Diffusions-Näherung. [13]

engl.: generalized reactor equation

franz.: équation du réacteur généralisée

Lit.: H. Grümm u. K. H. Höcker, Reaktorkinetik und Störungsrechnung, Erg. d. ex. Naturwiss., Band 30, Springer, Berlin, 1958.

Reaktorgleichung in Diffusionsnäherung. Sind die Voraussetzungen der *Diffusionstheorie gegeben, kann die *allgemeine Reaktorgleichung durch die R. i. D. ersetzt werden. Diese stellt eine Bilanzgleichung für den skalaren Neutronenfluß $\Phi(\mathfrak{r}, E, t)$ dar und hat die Form

$$\frac{1}{v}\,\frac{\partial \Phi}{\partial t} = (1-\beta)\,\boldsymbol{J}_0\,\Phi - \boldsymbol{K}\Phi + \sum_i \lambda_i f_i C_i + Q$$

$$f_i \frac{\partial C_i}{\partial t} = \beta_i\,\boldsymbol{J}_i\,\Phi - \lambda_i f_i C_i\,.$$

Darin bedeutet $C_i(\mathfrak{r}, t)$ die Konzentration der Mutterkerne i-ter Sorte. In der ersten Gleichung erfaßt das erste Glied rechts den Beitrag der prompten Neutronen, wobei der Gewinn-Operator $\boldsymbol{J}_0$ durch

$$\boldsymbol{J}_0 = f_0(E) \int_0^\infty \nu\,\Sigma_f\,\mathrm{d}E$$

gegeben ist (f_0 Spalt-Energiespektrum, ν Neutronen-Vermehrungszahl pro Spaltung, Σ_f Spaltquerschnitt). Das zweite Glied setzt die Verluste durch Ausströmen und die Streuvorgänge (Bremsung) in Rechnung. Bei elastischer Streuung wird der Verlust-Operator $\boldsymbol{K}$ definiert durch

$$\boldsymbol{K} = \mathrm{div}(D\,\mathrm{grd}) - \Sigma + \int_E^{E/a} \frac{\Sigma_s(E')}{1-a}\,\frac{\mathrm{d}E'}{E'}\,;$$

$$a = \left(\frac{A-1}{A+1}\right)^2$$

(D Diffusionskonstante, Σ totaler Wirkungsquer-

schnitt, A Massenzahl der streuenden Kerne). Das dritte Glied verbucht den Beitrag der verzögerten Neutronen (λ_i Zerfallskonstante und f_i Energiespektrum der i-ten Gruppe). Schließlich stellt $Q(\mathfrak{r}, t, E)$ den Beitrag einer äußeren Quelle dar. In der zweiten Gleichung steht rechts zuerst die Produktionsrate von Mutterkernen mit der Ausbeute β_i pro Spaltneutron. Der Operator $\boldsymbol{J}_0$ ist wie $\boldsymbol{J}_0$ nur mit f_i an Stelle von f_0 zu bilden. Das zweite Glied beschreibt den radioaktiven Zerfall. Dieses Glied tritt in der ersten Gleichung als Gewinn auf, da jeder Zerfall ein verzögertes Neutron hervorbringt.

Genau genommen sind bei der Ableitung der hier angegebenen R. i. D. bereits einige Voraussetzungen der Altersrechnung benutzt worden, indem das 1. Ficksche Gesetz verwendet wurde.

In vielen Fällen bedient man sich der *Gruppen-Diffusionsmethode. Man hat dazu die R. i. D. jeweils über die einzelnen Energie-Intervalle zu integrieren und erhält eine der Zahl der Intervalle entsprechende Zahl von Gleichungen, nunmehr für $\Phi(\mathfrak{r}, t)$. Der wichtigste Fall ist das Zweigruppenverfahren, das sich ergibt, wenn man in der obenstehenden R. i. D. die Operatoren $\boldsymbol{J}_0 = \boldsymbol{J}_i$ und $\boldsymbol{K}$ durch

$$\boldsymbol{J} = \begin{pmatrix} \nu_1 \Sigma_{f1} & \nu_2 \Sigma_{f2} \\ 0 & 0 \end{pmatrix};$$

$$\boldsymbol{K} = \begin{pmatrix} -\nabla D_1 \nabla + \Sigma_{a1} + \Sigma_1 & 0 \\ -\Sigma_1 & -\nabla D_2 \nabla + \Sigma_{a2} \end{pmatrix}$$

ersetzt. Ferner gilt

$$\Phi(\mathfrak{r}, t) = \begin{pmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \end{pmatrix}; \quad C_i(\mathfrak{r}, t) = \begin{pmatrix} C_i \\ 0 \end{pmatrix};$$

$$\frac{1}{v} = \begin{pmatrix} 1/v_1 & 0 \\ 0 & 1/v_2 \end{pmatrix}.$$

Der Index 1 bezieht sich auf Mittelwerte der schnellen, der Index 2 auf jene der langsamen Energiegruppe. Unter Σ_1 ist ein „Bremsquerschnitt" für die Versetzung aus der ersten in die zweite Gruppe zu verstehen. Es ist $f_i = 1$ zu setzen.

Kann man sich mit der *A l t e r s - T h e o r i e begnügen (großer, thermischer Reaktor mit nicht zu leichtem Moderator), so lauten die Operatoren $\boldsymbol{J}$ und $\boldsymbol{K}$

Reaktorgleichung nach Weinberg

$$\boldsymbol{J} = k_\infty \Sigma_a \mathrm{e}^{-B^2 \tau} ; \quad \boldsymbol{K} = -D \triangle + \Sigma_a$$

(k_∞ unendlicher Multiplikationsfaktor, B^2 Flußwölbung, τ thermisches Neutronenalter). Es sind die thermischen Querschnitte einzusetzen. [13]

engl.: reactor equation in diffusion approximation

franz.: équation du réacteur dans l'approximation de (la théorie de) la diffusion

Reaktorgleichung nach Weinberg, eine Form der *Reaktorgleichung in Diffusionsnäherung, welche allgemeine *Bremskerne verwendet, um die Bremsung der Neutronen bis zum Eintritt in das thermische Gebiet zu beschreiben. Die R. n. W. für den thermischen Fluß $\Phi(\mathfrak{r}, t)$ lautet

$$\frac{1}{v} \frac{\partial \Phi}{\partial t} = D \triangle \Phi - \Sigma_a \Phi + \\ + \int_R \left[\frac{k_\infty}{p} \Sigma_a \Phi' + Q' \right] P(\mathfrak{r}, \mathfrak{r}', E_{th}) \, \mathrm{d}V'$$

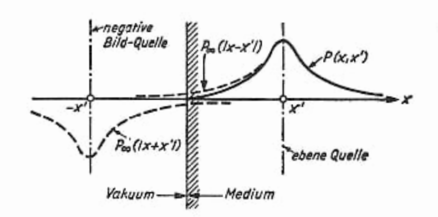
und bezieht sich auf den nackten thermischen Reaktor. Es bedeutet D die Diffusionskonstante, Σ_a den Absorptionsquerschnitt, k_∞ den unendlichen Multiplikationsfaktor, p die Bremsnutzung und Q eine äußere Quelle. Der Bremskern $P(\mathfrak{r}, \mathfrak{r}', E_{th})$ gibt die Wahrscheinlichkeit dafür an, daß ein am Punkt $\mathfrak{r}'$ erzeugtes Neutron am Punkt $\mathfrak{r}$ die Energie E_{th} erreicht. P kann dementsprechend als B r e m s d i c h t e für eine bei $\mathfrak{r}'$ liegende Punktquelle aufgefaßt werden.

Der Bremskern P bezieht sich auf ein e n d l i c h e s Medium. Er kann durch einen „unendlichen Bremskern" $P_\infty(|\mathfrak{r} - \mathfrak{r}'|, E_{th})$ ausgedrückt werden, wenn man die Quellenverteilung innerhalb des Reaktors über die Grenzen des Reaktors hinaus analytisch fortsetzt (und damit gewissermaßen negative „Bildreaktoren" einführt) und die Integration nunmehr über den ganzen Raum erstreckt (vgl. Abb.).

Zur Lösung der R. n. W. wird der Fluß durch die Reihenentwicklung

$$\Phi(\mathfrak{r}, t) = \sum_n A_n Z_n(\mathfrak{r}) T(t)$$

Reaktorgleichung nach Weinberg



dargestellt, wobei $Z_n(\mathfrak{r})$ eine am Rand des Reaktors verschwindende Eigenfunktion der Differentialgleichung

$$\Delta Z(\mathfrak{r}) + B^2 Z(\mathfrak{r}) = 0$$

bedeutet. Nun wird das Bremsglied mit Hilfe einer dreidimensionalen Fourier-Transformation umgeformt zu

$$q(\mathfrak{r}, E) = \sum_n \left[\frac{k}{p}\,\Sigma_a A_n T_n + Q_n\right] Z_n \overline{P}_\infty (E, B_n^2)\,\cdot$$

wobei P_∞ die Fourier-Transformierte des Bremskerns darstellt:

$$\overline{P}_\infty (E, B_n^2) = \int e^{\,i B_n^2 (\mathfrak{r}-\mathfrak{r}')} P_\infty (|\mathfrak{r}-\mathfrak{r}'|, E)\cdot \mathrm{d}(\mathfrak{r}-\mathfrak{r}')\,.$$

$\overline{P}_\infty(E, B_n^2)$ kann als Wahrscheinlichkeit dafür aufgefaßt werden, daß die Neutronen des n-ten Modus der schnellen Neutronenverteilung die Energie E erreichen, ohne absorbiert zu werden oder den Reaktor zu verlassen. Hier besteht ein enger Zusammenhang mit der Bremsnutzung.

Die R. n. W. geht schließlich über in die Form

$$\frac{l_n}{T_n(t)}\;\frac{\mathrm{d}T_n}{\mathrm{d}t} = \left[\frac{\overline{k_\infty}\, P_\infty(B_n^2)}{p(1 + L^2 B_n^2)} - 1\right] + \\ + \frac{Q_n \overline{P}_\infty (B_n^2)}{\Sigma_a (1 + L^2 B_n^2) A_n T_n(t)}\,,$$

wobei $l_n = [\Sigma_a v(1 + L^2 B_n^2)]^{-1}$ die endliche Neutronen-Lebensdauer für den n-ten Modus bedeutet. Ist keine äußere Quelle vorhanden $(Q_n = 0)$, so ist

$$k = \frac{k_\infty \overline{P}_\infty (B_0^2)}{p(1 + L^2 B_0^2)} = 1$$

die Bedingung für den stationären Reaktor. Dabei ist $B_0^2 = B^2$ der kleinste vorkommende Eigenwert und der Neutronenfluß wird durch den nullten Modus der obenstehenden Entwicklung dargestellt.
Die obenstehende Formel für k kann auch in die Momentform der *kritischen Gleichung übergeführt werden. Darf die Bremsung nach der Alterstheorie berechnet werden, so ergibt sich $\overline{P}_\infty(B^2) = p\, e^{-B^2 \tau}$ und man erhält die elementare Form der kritischen Gleichung

$$\frac{k_\infty\, e^{-B^2 \tau}}{1 + L^2 B^2} = 1 .$$

Verwendet man eine Mehrgruppen-Theorie, so wird das Bremsintegral durch die Faltung

$$P(|\mathfrak{r}_n - \mathfrak{r}_0|) = \int\int \cdots \int P_1(|\mathfrak{r}_1 - \mathfrak{r}_0|) \cdot$$
$$\cdot P_2(|\mathfrak{r}_2 - \mathfrak{r}_1|) \ldots P_n(|\mathfrak{r}_n - \mathfrak{r}_{n-1}|)\, d\mathfrak{r}_1\, d\mathfrak{r}_2 \ldots d\mathfrak{r}_n$$

dargestellt. Die *Fourier-Transformation einer Faltung ist nach dem Faltungssatz gleich dem Produkt der einzelnen transformierten Kerne, so daß in diesem Fall die kritische Gleichung die Form

$$\frac{k_\infty}{p(1 + L^2 B^2)} \overline{P}_1 (B_1^2)\, \overline{P}_2 (B_2^2) \ldots \overline{P}_n (B_n^2) = 1$$

annimmt. Der Vorteil dieser Formulierung besteht darin, daß man die einzelnen Fourier-Transformierten an die gemessenen Werte einer Bremsdichteverteilung anpassen kann. Das ist z. B. bei Bremsung in Wasser angezeigt, wo die Alterstheorie versagt. [13]
engl.: reactor equation, Weinberg's formulation
franz.: équation du réacteur, formule de Weinberg
Lit.: S. Glasstone and M. C. Edlund, The Elements of Nuclear Reactor Theory, Van Nostrand, New York, 1952, Kap. XII.

Reaktor-Inbetriebnahme umfaßt alle Versuche und Vorkehrungen, die vor dem ersten Betrieb mit voller Leistung durchgeführt werden. Sie gliedern sich in drei Gruppen, nämlich in Maßnahmen, die vor dem ersten Kritischwerden durchgeführt werden, in den Prozeß

des Kritischwerdens und solche, die bis zum Erreichen der vollen Leistung nötig sind.

Die wichtigsten Punkte der ersten Gruppe sind:

a) Feststellung der kritischen Masse, u. U. zunächst ohne Kühlmittel.
b) Prüfung des Primärkühlkreises unter Betriebsdruck und -Temperatur, Prüfung der Pumpen, der Dichtheit des Kreises, des Kühlmittelreinigungssystems und anderer Hilfseinrichtungen.
c) Überprüfung der Reaktor-Instrumentierung und des Sicherheitssystems.

Die Art der Durchführung des ersten „kritischen Experiments" hängt stark vom Reaktor-Typ ab.

An den kritischen Zustand tastet man sich auf jeden Fall langsam heran. Die dabei zu messenden charakteristischen Kenngrößen und die aus ihnen zu ziehenden Folgerungen gewährleisten eine ausreichende Sicherheit für dieses Experiment. So wurde z. B. beim natriumgekühlten Reaktor SRE der kritische Zustand durch eine messend verfolgte Beschickung der Spaltzone mit Brennstoffelementen erreicht. Das Na und die Spaltzone wurden dabei auf 175 °C gehalten. Nach jedem eingeführten Brennstoffelement wurde die Wirksamkeit der Regel- und Sicherheitsstäbe abgeschätzt.

Nach dem „Kritischwerden" sind schon bei niedriger Reaktorleistung Messungen auszuführen, die für einen sicheren und wirtschaftlichen Reaktorbetrieb Daten liefern, so z. B. Messung der Neutronenflußverteilung, Messung des „Gewichts" eines Brennstoffelements an den verschiedenen Positionen, Kalibrierung der Regel- und Sicherheitsstäbe, Messung des Temperaturkoeffizienten der Reaktivität in Abhängigkeit von der Temperatur. Wichtig sind auch die Messungen über die Güte der Abschirmungen. Ist eine Auswechslung der Brennstoffelemente während des Betriebs vorgesehen, so ist diese auf ihre Betriebssicherheit hin durchzuproben.

Erst nach diesen Messungen wird man im allgemeinen alle Brennstoffelemente einführen, um die notwendige Überschußreaktivität zu erhalten und dann die Reak-

torleistung steigern. Nun muß das dynamische Verhalten des Reaktors untersucht werden, durch geplante Schnellabschaltungen, durch Messungen über das Verhalten bei vorgegebenen Laständerungen, vor allem des Kühlkreises mit seinen Einrichtungen, des Regelsystems und der Materialbeanspruchung im Reaktor. Unter dauernder Überwachung des Reaktorzustandes wird die Leistung auf ihren Sollwert gebracht. Die Messungen zum stationären und dynamischen Verhalten werden noch für den normalen Betriebszustand des Reaktors während des einige Monate dauernden Probebetriebs durchgeführt. Nach diesem ist die Inbetriebnahme der Anlage beendet. [21]

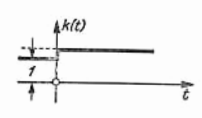
Reaktorkampagne, s. Nachtrag.

Reaktorkinetik. Die R. im engeren Sinne, auch „lineare" R., befaßt sich mit dem Zeitverhalten des Kernreaktors bei Reaktivitätsänderungen. Diese können durch den Kontrollmechanismus (Bewegen von Kontrollstäben) oder durch Änderungen im Wärmehaushalt des Reaktors (Kühlmitteltemperatur, Umlaufgeschwindigkeit, Druckänderungen usf.) hervorgerufen werden. Außerdem sind noch Änderungen durch *Abbrand, *Vergiftung bzw. *Konversion in Betracht zu ziehen. In der Folge von Reaktivitätsänderungen ändert sich das Leistungsniveau und damit die Temperatur- und Druckverhältnisse im Reaktor. Diese wirken über die Reaktionsquerschnitte wieder zurück auf die Reaktivität. Mit diesen (nichtlinearen) Rückwirkungen befaßt sich die R. im weiteren Sinne, auch *Reaktordynamik.

Die zuerst genannten Einflüsse (Kontrolle, Wärmehaushalt) führen z. T. zu Vorgängen, die sich in sehr kurzen Zeiträumen (millisec bis min) abspielen. Dieses „Kurzzeitverhalten" des Reaktors ist der eigentliche Gegenstand der R. und muß von der Regeltechnik beherrscht werden. Die durch Vergiftung hervorgerufenen Erscheinungen bestimmen das „Mittelzeitverhalten" des Reaktors (Stunden bis Tage). Abbrand und Konversion schließlich bestimmen das „Langzeitverhalten" des Reaktors (Monate bis Jahre).

Die Grundaufgabe der R. besteht darin, die

*kinetischen Gleichungen des Reaktors für verschiedene Änderungsformen $k(t)$ des Multiplikationsfaktors zu lösen.



Der mathematisch am einfachsten zu beherrschende kinetische Vorgang ist ein Sprung der Reaktivität (oder des Multiplikationsfaktors k) von einem konstanten Wert auf einen anderen (Abb. 1). Meistens wird dabei angenommen, daß der Reaktor für $t < 0$ kritisch war. In diesem Fall werden die kinetischen Gleichungen einer *Laplace-Transformation unterworfen und man gelangt zu der Lösung

$$n(t) = \frac{q\,l}{1-k} + n_0\,A_0\,e^{p_0 t} + n_0 \sum_{k=1}^{m} A_k(p_k)\,e^{p_k t}\,. \tag{1}$$

Dabei ist n_0 der Neutroneninhalt für $t < 0$. Die Exponenten p_k sind Nullstellen der Gleichung

$$\varrho = \frac{1}{1+l\,p}\left(l\,p + \sum_{i=1}^{m} \varepsilon_i\,\beta_i\,\frac{p}{p+\lambda_i}\right) \tag{2}$$

und die Koeffizienten $A(p_k)$ sind durch

$$A_k = \left[l + \frac{q\,l}{n_0\,p_k} + \sum_{i=1}^{m} \frac{\varepsilon_i\,\beta_i}{p_k+\lambda_i}\right] : \left[l + k \sum_{i=1}^{m} \varepsilon_i\,\beta_i\,\frac{\lambda_i}{(p_k+\lambda_i)^2}\right] \tag{3}$$

gegeben (die Bedeutung der verschiedenen Größen ist unter dem Stichwort „kinetische Gleichungen des Reaktors" zu finden). Die Nullstellen p_k von (2) können aus der (schematischen) Abb. 2 abgelesen werden. Man erkennt, daß der Koeffizient p_0 das gleiche Vorzeichen hat wie die Reaktivität und daß sämtliche anderen p_k negativ sind. Dementsprechend klingt der Summenausdruck in (1) sehr schnell ab und für das Zeitverhalten auf längere Sicht ist der zweite Ausdruck maßgebend – der erste gibt den konstanten Beitrag der

äußeren Quelle. Den Kehrwert von p_0 nennt man die **Zeitkonstante** T oder **stabile Periode** des Reaktors:

$$T = \frac{1}{p_0}.$$

Eine kleine Zeitkonstante bedeutet, daß die Reaktorleistung sehr rasch exponentiell anschwillt. Der durch

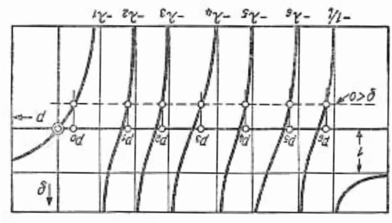


Abb. 2

(2) vermittelte Zusammenhang zwischen ϱ und T wird unter *Reaktorperiode und Reaktivität behandelt. Bezüglich der Wirkung einer äußeren Quelle s. unter *subkritische Multiplikation.

Für Näherungsrechnungen kann man statt der sechs Gruppen verzögerter Neutronen, die gewöhnlich berücksichtigt werden, **eine** einzige repräsentative Gruppe betrachten, deren Zerfallskonstante λ durch $\lambda = \beta / \sum_i \beta_i/\lambda_i$ ($\approx 0{,}08$ s) definiert ist. Man erhält in diesem Fall (ohne äußere Quelle q), wenn man sich auf kleine Reaktivitäten beschränkt,

$$\begin{aligned} n(t) &\approx \frac{n_0}{\beta - \varrho}\left[\beta\, e^{\lambda \varrho t/(\beta-\varrho)} - \varrho\, e^{-(\beta-\varrho)t/l}\right] \\ c(t) &\approx \frac{n_0 \beta}{\lambda l}\, e^{\lambda \varrho t/(\beta-\varrho)}\,. \end{aligned} \tag{4}$$

Das Verhalten des Reaktors bei einem kleinen positiven bzw. negativen Reaktivitäts-Sprung ist in Abb. 3 schematisch dargestellt. Den anfänglichen raschen Anstieg (Abfall) der Reaktorleistung nennt man „**prompten Anstieg**" (bzw. Abfall). Er rührt daher, daß im ersten Moment nach dem Reaktivitätssprung zwar vermehrt Mutterkerne gebildet werden, daß jedoch die vermehrte Produktion von verzögerten

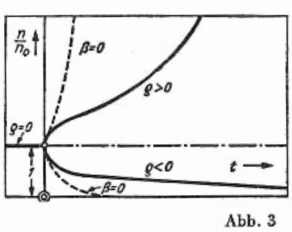


Abb. 3

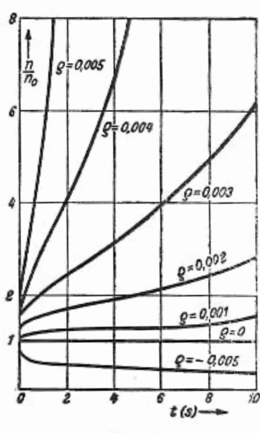


Abb. 4

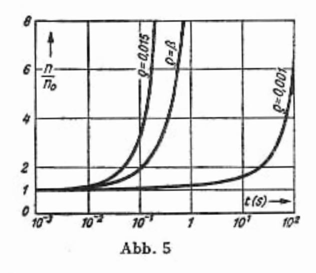


Abb. 5

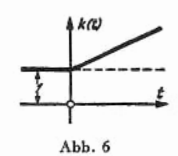


Abb. 6

Neutronen nachhinkt. Die zusätzlich produzierten Neutronen sind also anfänglich durchwegs prompt und verursachen einen schnellen Anstieg. Erst dann holen die verzögerten Neutronen auf und mildern die Wachstumsrate. Gäbe es keine verzögerten Neutronen, so würde das Reaktorverhalten gemäß

$$n(t) = n_0 \, e^{\varrho t/l} \tag{5}$$

durch die prompten Neutronen allein beherrscht werden (strichlierte Linien in Abb. 3) und es wäre kaum möglich, den Reaktor zu kontrollieren.

Ist die Neutronen-Lebensdauer sehr klein, so kann in (4) der Beitrag des zweiten Gliedes vernachlässigt werden und es ergibt sich der in Abb. 4 dargestellte Verlauf von $n(t)$. In dieser Näherung macht $n(t)$ einen „prompten Sprung" vom Betrag $(n/n_0)_{t=0} = \beta/(\beta - \varrho)$.

Die Gleichung (4) ist nur für kleine Reaktivitäten (genauer für $\varrho \ll \beta$) gültig. Falls $\varrho = \beta$ wird, ist der Reaktor „prompt kritisch". Die *kinetischen Gleichungen des Reaktors lauten dann

$$\frac{\mathrm{d}n}{\mathrm{d}t} = \sum_{i=1}^{m} \lambda_i c_i \, ; \qquad \frac{\mathrm{d}c_i}{\mathrm{d}t} = \frac{\varepsilon_i \beta_i}{l^*} n - \lambda_i c_i \, , \tag{6}$$

d. h. der Reaktor ist schon ohne die verzögerten Neutronen ($\beta = 0$), durch die Wirkung der prompten allein, kritisch. Die verzögerten bringen ihn zum „Hochgehen" (Abb. 5). Diese Situation muß im Reaktorbetrieb unbedingt vermieden werden (die vom Feinregelstab im ganzen Spielraum bewirkte Reaktivitätsänderung soll $< \beta$ gehalten werden).

Der Reaktivitäts-Sprung stellt eine weitgehende Idealisierung dar. Bei der Bewegung eines Kontrollstabes wird die Reaktivitätsänderung eher durch eine Reaktivitäts-Rampe (Abb. 6) oder eine allgemeinere Funktion dargestellt. In diesen Fällen sind die kinetischen Gleichungen nur durch numerische Verfahren lösbar. Besonders vorteilhaft ist die Näherungsformel von Hurwitz für allmählich veränderliches $\varrho(t)$:

$$n(t) = n_0 \, \varkappa \, e^{\int_0^t \varrho(t') \, \mathrm{d}t'} \, . \tag{7}$$

 Dabei ist $p(t)$ die größte Wurzel der Gleichung

$$p = \frac{\varrho(t) - \varepsilon\beta}{l^*} + \sum_{i=1}^{m} \frac{\varepsilon_i \beta_i}{l^*} \frac{\lambda_i}{p + \lambda_i}. \tag{8}$$

Die Größe $\varkappa$ ist durch

$$\varkappa = \left[1 + \sum_i \frac{1}{l^*} \varepsilon_i \beta_i \lambda_i\right]^{1/2} : \left[1 + \sum_i \frac{\varepsilon_i \beta_i}{l^*} \frac{\lambda_i}{[\lambda_i + p(t)]^2}\right] \tag{9}$$

gegeben. Die Näherungslösung (7) ist gegenüber Variationen von $\varkappa$ nicht sehr empfindlich. Die Abb. 7 zeigt n/n_0 für eine Rampe $k(t) = 1 + 5 \cdot 10^{-5}\, t$.

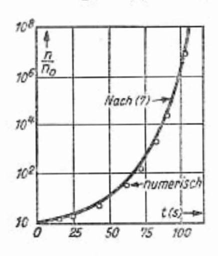


Abb. 7

Im allgemeinen ist es vorteilhaft, kompliziertere Aufgaben der R. mit Hilfe eines *Reaktor-Simulators zu lösen. Dies gilt vor allem für *Reaktivitäts-Oszillationen und für Probleme der *Reaktordynamik. [13]

engl.: reactor kinetics

franz.: cinétique du réacteur

Lit.: Reactor Handbook, Physics (AECD-3645), Verl. McGraw-Hill, New York, 1955, Kap. VI. – H. Grümm u. K. H. Höcker, Reaktorkinetik und -Störungsrechnung, Erg. d. ex. Naturwiss., Band 30, Springer, Berlin, 1958.

Reaktorkinetik bei zirkulierendem Spaltstoff. In einem Kernreaktor mit unbeweglichen Substanzen (z. B. heterogener Graphitreaktor – vom Kühlmittel kann abgesehen werden) stimmt die räumliche Verteilung der Quelle von prompten Neutronen mit der der verzögerten überein (beide sind dem Fluß proportional). Beim Reaktor mit zirkulierendem Spaltstoff werden die bei der Spaltung entstehenden Mutterkerne

von verzögerten Neutronen mit der Strömung mitgeführt. Sie emittieren daher die verzögerten Neutronen nicht am Ort der Spaltung, sondern in Richtung der Strömung versetzt. Dadurch wird einerseits der verzögerte Fluß im Reaktor gegenüber dem prompten verschoben und die Flußverteilung weicht mit wachsender Zirkulationsgeschwindigkeit immer mehr von der des Reaktors mit fixem Spaltstoff ab. Auf der anderen Seite werden Mutterkerne in den äußeren Kreislauf verschleppt und emittieren dort verzögerte Neutronen, die der Kettenreaktion verloren gehen. Dies wirkt sich auf die Kinetik des Reaktors aus, weil der Anteil β_i der verzögerten Neutronen vermindert wird. Der Effektivwert $\overline{\beta_i}$ kann bei sehr schneller Zirkulation folgendermaßen grob abgeschätzt werden. Der Spaltstoff verweile den Bruchteil P der Zirkulationszeit in der Spaltzone, den Rest im äußeren Kreislauf. Es ist dann

$$\overline{\beta_i} = P\,\beta_i$$

und weiter, wenn ν die Neutronen-Vermehrungszahl pro Spaltung bedeutet:

$$\overline{\nu} = \nu(1-\beta) + \nu\,\overline{\beta} = \nu\,[1-(1-P)\beta]\,.$$

Der Effektivwert $\overline{\nu}$ ist in den kinetischen Gleichungen des Reaktors zu verwenden.

Die genauere Berechnung erfolgt mit Hilfe der *kinetischen Gleichungen, wobei die Bilanz der Mutterkerne durch das konvektive Glied $\mathfrak{w} \cdot \operatorname{grd} c_i$ zu erweitern ist, wenn $\mathfrak{w}(\mathfrak{r}, t)$ das Strömungsbild beschreibt. Eine exakte Lösung der entstehenden Gleichungen kann nur in speziellen Fällen gewonnen werden, wie z. B. bei einem Reaktor mit gleichem Querschnitt in Spaltzone und äußerem Kreislauf bei laminarer Strömung. [13]

engl.: kinetics of circulating fuel-reactors

franz.: cinétique du réacteur à combustible fluïde

Lit.: J. A. Fleck, Kinetics of Circulating Reactors of Low Power, Nucleonics 12, 7o. 10, S. 52 (1954).

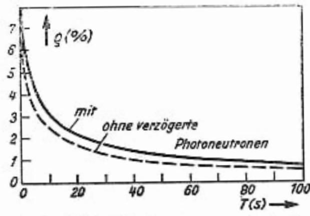
Reaktorkinetik, Einfluß von Photoneutronen. Durch die Gammastrahlung im Reaktor können Photoneutronen in schwerem Wasser (Schwellenergie 2,23 MeV) und in Beryllium (Schwellenergie 1,67 MeV) erzeugt werden. Es handelt sich um die Kernreaktionen $^{9}Be\,(\gamma, n)\,^{8}Be$ und $D\,(\gamma, n)\,^{1}H$. Die von der

Reaktorkinetik, Einfluß von Photoneutronen

p r o m p t e n Gammastrahlung erzeugten Photoneutronen haben auf die R. keinen entscheidenden Einfluß, da sie zu den prompten Neutronen zählen. Dagegen kann die v e r z ö g e r t e Gammastrahlung in Reaktoren mit D_2O oder Be als Moderator oder Reflektor eine Rolle spielen, da sie zu den sechs aus Spaltprodukten stammenden Gruppen verzögerter Neutronen weitere neun Gruppen hinzufügt. Die wichtigsten Daten dieser v e r z ö g e r t e n P h o t o n e u t r o n e n i n D_2O sind in folgender Tabelle zusammengefaßt.

Gruppe Nr.	Halbwertszeit (s)	Ausbeute bezogen auf die Spaltneutronen (‰)
1	2,5	0,78
2	41,0	0,24
3	144,0	0,084
4	462	0,04
5	1620	0,025
6	5940	0,028
7	15840	0,0039
8	190800	0,0012
9	1105200	0,0005

Enthält der Reaktor D_2O oder Be als Moderator, so wird man in erster Näherung annehmen können, daß die Quelle der Photoneutronen die gleiche räumliche Verteilung aufweist, wie die der gewöhnlichen verzögerten Neutronen. Unter dieser Voraussetzung sind



die Gruppen der Photoneutronen einfach denen der gewöhnlich verzögerten hinzuzurechnen. Für den JEEP ergaben sich die in der Abb. dargestellten Verhältnisse.

Bei gegebener Reaktivität ist also die Reaktorperiode T bei Berücksichtigung der verzögerten Photoneutronen größer als mit den gewöhnlichen verzögerten Neutronen allein. Die Empfindlichkeit des Reaktors gegenüber Reaktivitätsänderungen wird also herabgesetzt. [13]

engl.: influence of photoneutrons
franz.: influence des photo-neutrons

Lit.: A. Lundby and N. Holt, Kinetic Behavior of a Thermal Heavy-Water Reactor, Nucleonics 12, No. 1, S. 22 (1954).

Reaktorkonstante, im Lehrbuch von F. Cap, Physik und Technik der Atomreaktoren, Wien, 1957, eingeführte Übersetzung für das englische Wort *buckling*. Im Deutschen ist das Wort *Flußwölbung verbreiteter und empfehlenswert. [7]

Reaktorkontrolle, s. Regelstäbe und Kontrolle.

Reaktor-Optimalisierung führt unter Berücksichtigung gegebener Einflußfaktoren zu einer optimalen Auslegung.
Bei Leistungsreaktor-Anlagen sind hierbei technische und wirtschaftliche Faktoren, wie Leistung, Leistungsdichte, Wirkungsgrad, Konstruktion der Spaltzone und deren Materialien, Abbrand, Sicherheitsgesichtspunkte, Zinsen für Brennstoff und Anlagekapital, Lebensdauer der Anlage, Materialkosten, Brennstoffkosten, Wert des verbrauchten Brennstoffs zu berücksichtigen, so daß möglichst kleine Stromerzeugungskosten E entstehen (s. Leistungsreaktor, Anlagekosten). Für jede Leistungsreaktoranlage soll also E ein Minimum sein. Das Ergebnis einer solchen Optimalisierung ist daher z. B. von den wirtschaftlichen Bedingungen, die am Standort der Anlage gelten, abhängig; auch bezieht sie sich nicht auf den Reaktor allein, sondern auf das gesamte Atomkraftwerk.
Bei Forschungsreaktoren sind diese Einflußfaktoren überwiegend durch Art und Umfang der Experimente und der Isotopenherstellung, für die der Reaktor dienen soll, gegeben. Im Gegensatz zum Leistungsreaktor gibt es hier keine Größe E, die für alle Forschungsreaktoren einen Extremwert annehmen soll. Die Optimalisierung besteht hier in folgendem:
Es werden die einen Forschungsreaktor beschreiben-

den unabhängigen Parameter so gewählt, wie es der Zweck des Reaktors fordert. Ist dann der Reaktor noch nicht festgelegt, so wird man etwa unter den verbleibenden Möglichkeiten diejenige wählen, die die geringsten Kosten verursacht. Ist die Zahl verfügbarer unabhängiger Parameter kleiner als die Zahl der Forderungen, so muß ein Kompromiß geschlossen werden. [21]
engl.: reactor optimisation
franz.: recherche du réacteur optimum

Reaktoroszillator. Der R. dient zur Messung von Neutronenabsorptionsquerschnitten. Das Meßprinzip entspricht dem für den Vergiftungskoeffizienten, jedoch wird beim R. die Probe periodisch in den Reaktor ein- und ausgeführt. Dadurch wird dem Fluß eine oszillierende Komponente überlagert. Diese ist dem Absorptionsquerschnitt der Probe proportional. Die Lage der Probe im Reaktor und die Länge der Bewegung kann ebenso wie die Lage des Detektors für die Flußmessung beliebig gewählt werden. [26]
engl.: pile oscillator
franz.: oscillateur de pile

Reaktorperiode T ist diejenige Zeit, die verstreicht, bis sich die Leistung oder der Fluß Φ eines Reaktors um den Faktor e geändert hat. Im einfachsten Fall ist

$$\Phi = \Phi_0 \cdot e^{t/T} . \qquad (1)$$

Ein stationär arbeitender (kritischer) Reaktor hat die Periode unendlich. Ein prompt-überkritischer Reaktor hat eine sehr kleine Periode von $^1/_{10}$ bis $^1/_{100}$ s. In diesem Fall steigt der Neutronenfluß in 1 s auf das $2 \cdot 10^4$-fache und höher. Die R. hängt insbesondere von der Größe der Reaktivität ab. Wenn die zeitabhängige Flußberechnung auf mehrere sich überlagernde Zeitfunktionen

$$\Phi = \sum_i \Phi_i \, e^{t/T_i} \qquad (2)$$

führt, was bei strenger Berücksichtigung der verzögerten Neutronengruppen der Fall ist, nennt man die größte Periode die stabile Periode. Die anderen heißen vorübergehend oder intermediär. Sie

bestehen nur während kürzerer Zeitabschnitte. Die stabile R. findet man aus

Reaktorperiode

$$\frac{1}{T} = \lim_{t \to \infty} \frac{1}{\Phi} \cdot \frac{d\Phi}{dt} \tag{3}$$

Eine Periode kann negativ sein. Das bedeutet, daß der ihr zugehörige Neutronenfluß mit der Zeit abnimmt. Ist die Reaktivität $\varrho > 0$, so ist nur die stabile Periode positiv, die vorübergehenden sind negativ. Ist $\varrho < 0$, so sind alle Perioden negativ.

Die stabile R. T hängt mit der Reaktivität ϱ nach der Gesetzmäßigkeit

$$\varrho = \frac{T}{l+T}\left(\frac{l}{T} + \sum_{i=1}^{m} \frac{\varepsilon_i \beta_i}{1+\lambda_i T}\right) \tag{4}$$

zusammen (s. Reaktorkinetik, Gl. 2). Das kann für viele praktische Fälle vereinfacht werden zu

$$\varrho = \frac{l}{Tk} + \sum_{i=1}^{m} \frac{\beta_i}{1+\lambda_i T}. \tag{4 a}$$

Ist die Reaktivität s e h r k l e i n, so gehen diese Beziehungen über in

$$T \approx \frac{1}{\varrho}\left(l + \sum_{i=1}^{m} \frac{\varepsilon_i \beta_i}{\lambda_i}\right) = \frac{1}{\varrho}\left(l + \frac{\beta}{\lambda}\right) \approx \frac{\beta}{\lambda \varrho} \tag{5}$$

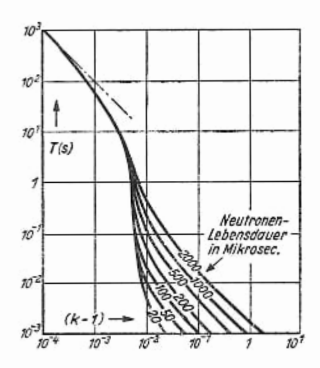
(die Neutronen-Lebensdauer l von 10^{-3} s kann gegenüber β/λ – ca. 10^{-1} s – vernachlässigt werden. λ ist die mittlere Zerfallskonstante der Mutterkerne der verzögerten Neutronen.

Ist die Reaktivität g r o ß ($\varrho \gg \beta$), so ist

$$T \approx \frac{l}{k-1} \approx \frac{l}{\varrho}. \tag{6}$$

Diese Beziehung ergibt sich auch, wenn man die verzögerten Neutronen vernachlässigt und nur die prompten berücksichtigt. In beiden Extremfällen sind T und ϱ reziprok zueinander. Falls die R. an einem arbeitenden Reaktor experimentell gemessen wird, kann man (4) und (4 a) benützen, um die Reaktivität zu errechnen.

Reaktorperiode Für ein bestimmtes Spaltmaterial hängt die R. T eines Reaktors von der Reaktivität ϱ und der Neutronen-Lebensdauer l ab. Dieser Zusammenhang ist in der Abb. für U^{235} dargestellt. Man erkennt, daß für



Zeitkonstante und Lebensdauer

$\varrho < 5\,^0/_{00}$ die R. praktisch nicht von der Lebensdauer abhängt. Ein Einfluß der Lebensdauer tritt erst ab *prompt kritisch ($\varrho \approx 7{,}5\,^0/_{00}$) in Erscheinung. Bei Reaktoren mit kleiner Lebensdauer (schnelle und auch Leichtwasser-Reaktoren) ist ab prompt kritisch die R. merklich kleiner als bei Reaktoren mit größerer Lebensdauer (Graphit- und Schwerwasser-Reaktoren), was beim Entwurf der Reaktorkontrolle besonders berücksichtigt werden muß.

Die R. stellt das adäquate Maß für die stets auf den jeweiligen Leistungspegel zu beziehenden Steuerwirkungen der Steuerorgane dar. Ihre genaue Kenntnis in jedem Augenblick hat deshalb bei allen praktischen Steuermaßnahmen, insbesondere beim Start, entscheidende Bedeutung.

Zur Messung der R. kommen wegen der außerordentlich großen Neutronenflußbereiche praktisch nur nukleare Meßgeräte mit Bor-Ionenkammern und Bor-Zählrohren in Frage. Dadurch lassen sich mit einem einzigen Meßgerät Leistungsbereiche bis zu etwa

sieben Zehnerpotenzen erfassen. Bei geeigneten Kombinationen verschieden empfindlicher *Meßkanäle kann ein Gesamtbereich von mehr als zehn Zehnerpotenzen erreicht werden, so daß eine ununterbrochene *Periodenüberwachung an allen z. Z. vorkommenden Reaktortypen möglich ist.

Die aus Sicherheitsgründen gerade noch zulässige minimale R. hängt entscheidend von der *Temperaturverzögerung, dem zu erfassenden Leistungsbereich und der *Abschaltverzögerung ab. Die Zahlwerte liegen zwischen 0,1 s und etwa 10 s. Noch größere Werte sind im Hinblick auf die resultierenden langen Anfahrzeiten im Perioden- und Ausgleichbereich unerwünscht, noch kleinere Werte lassen sich andererseits auch regelungstechnisch nicht mehr sicher beherrschen und haben deshalb praktisch keinen Sinn.

Der Begriff stellt eine wörtliche Übersetzung des englischen *reactor period* dar. Die Benennung ist irreführend, da der Vorgang in keiner Weise periodisch ist. Man hat daher Reaktorzeitkonstante vorgeschlagen, was aber auch nicht ideal und empfehlenswert ist, weil beim praktischen Reaktorbetrieb gerade diese Zeitkonstante laufend verändert wird. [7, 9, 13]

engl.: reactor period

franz.: période du réacteur, constante de temps

Lit.: s. Reaktortheorie.

Reaktorregelung, s. Neutronenflußregelung, Leistungsregelung, Regelung.

Reaktor-Simulator, elektronische *Analogie-Rechenmaschine, welcher speziell zur Lösung von Problemen der *Reaktorkinetik bzw. *Reaktordynamik eingerichtet ist. Neben R.-S.n, welche die Reaktorleistung als Funktion der Zeit darstellen, gibt es Geräte, die zur Nachbildung der räumlichen Flußverteilung geeignet sind.

Wie bei allen Analogie-Geräten werden auch im R.-S. physikalische Größen durch elektrische Spannungen nachgebildet. Um etwa erzwungene Schwingungen des Neutronenpegels im unterkritischen Reaktor nachzubilden, hat man in Gl. 4 des Stichworts Reaktivitäts-

 Oszillationen folgende Substitutionen durchzuführen:

$$\frac{1-\beta}{\lambda} = R_0 C \; ; \quad \frac{l}{\lambda(1-k_0)} = L C \; ;$$

$$\frac{1 - k_0 + \beta k_0 + l \lambda}{\lambda(1-k_0)} = C(R + R_0)$$

und erhält

$$\frac{N}{K} \frac{1-k_0}{n_0} = \frac{E_a}{E_e} =$$

$$= \frac{1 + j \omega C R_0}{1 - \omega^2 L C + j \omega C (R + R_0)} \, .$$

Diese Gleichung gibt das Verhältnis von Ausgangsspannung E_a und Eingangsspannung E_e in der Schaltung Abb. 1 wieder, die damit als einfachster R.-S. wirkt.

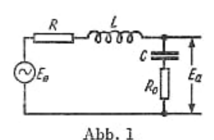


Abb. 1

Ein R.-S. für beliebig gestaltete Reaktivitätsänderungen im Reaktor bei Berücksichtigung von sechs verzögerten Neutronengruppen ist in Abb. 2 dargestellt.

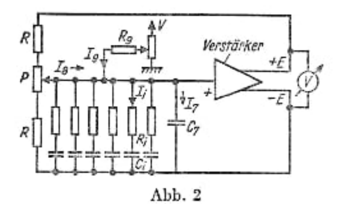


Abb. 2

Eine Baugruppe dieses Typs ist das Grundelement eines R.-S. für Reaktordynamik. Bei einem leistungsfähigeren Gerät kommen Simulatoren für Vergiftung, Temperatur- und Druckkoeffizienten, Wärmetauscher usf. hinzu. Man kann auf diese Weise ganze Kernkraftwerke nachbilden. Für schwierigere dynamische Probleme, bei denen nichtlineare Beziehungen ins Spiel kommen, ist der R.-S. zur Lösung unentbehrlich, ins-

besondere, wenn das gleiche Problem mit verschiedenen Sätzen von Daten durchgespielt werden soll.
Mit besonders schnellen *Digitalrechenmaschinen ist es möglich, die gleichen Probleme in Angriff zu nehmen. [13]
engl.: reactor simulator
franz.: simulateur, modèle analogique de pile
Lit.: M. A. Schultz, Control of Nuclear Reactors and Power Plants, McGraw-Hill, New York, 1955. – Nucleonics, Sonderheft Mai 1957.

Reaktorstatik ist jener Zweig der Reaktortheorie, der sich mit der Berechnung der kritischen Abmessungen des Reaktors für bestimmte Betriebsbedingungen befaßt. Sie setzt einen stationären Betrieb voraus (alle Zeitableitungen sind Null). Ihre Aufgabe ist, die Diffusion von Neutronen aller Energien zwischen Spaltenergien und thermischer Energie zu beschreiben. Sie bedient sich dazu meist der *Gruppendiffusionsmethode, bei der die elementare Diffusionstheorie durch einzelne Ergebnisse der *Transporttheorie verbessert wurde. [7]
engl.: reactor statics *franz.: statique du réacteur*

Reaktor-Störungsrechnung. Ist die Flußverteilung Φ in einem Reaktor für einen bestimmten Reaktivitätswert bekannt(z. B. für den kritischen Zustand), so kann man, davon ausgehend, mit Hilfe der R.-S. verschiedene Größen auch für benachbarte Zustände ermitteln. Die Reaktorgleichung liege in der Gestalt $\boldsymbol{M}\,\Phi = \omega\,\Phi$ vor, wobei $\boldsymbol{M}$ ein (Matrix-) Operator und ω ein Eigenwertparameter ist. Der Reaktor erleide nun eine kleine Änderung, die durch einen Störungs-Operator $\boldsymbol{S}$ dargestellt werden soll, so daß die Reaktorgleichung nun die Gestalt $(\boldsymbol{M} + \boldsymbol{S})\,\Phi' = \omega'\,\Phi'$ annimmt. Mit Hilfe der *Einflußfunktion $\Phi^\dagger$ kann die Änderung des Eigenwerts $\Delta\omega = \omega' - \omega$ in erster Ordnung nach der Formel

$$\Delta\omega = \frac{\int \Phi^\dagger\ \boldsymbol{S}\,\Phi\,\mathrm{d}V}{\int \Phi^\dagger\,\Phi\,\mathrm{d}V}$$

bestimmt werden. Wesentlich ist dabei, daß Fluß Φ und Einfluß $\Phi^\dagger$ nur für das ungestörte Problem bekannt sein müssen.
In den meisten Fällen handelt es sich darum, die Reak-

tivitätsänderung zu berechnen, die sich aus irgendeiner Änderung im Reaktor ergibt (Temperatur, Druck, Abmessungen, Konzentrationen usf.). In ganz allgemeiner Form ist die Änderung des Multiplikationsfaktors k durch

$$\delta k = \frac{[N^\dagger, \delta(\boldsymbol{J} - \boldsymbol{K})N]}{[N^\dagger, \boldsymbol{K}N]}$$

gegeben. Hier bedeutet $N(\mathfrak{r}, t, E, \vec{\Omega})$ die (transporttheoretische) Neutronendichte und $N^\dagger$ die entsprechende Einflußfunktion. Die eckigen Klammern deuten an, daß das Produkt der in ihnen stehenden Größen über das Reaktorvolumen, alle Richtungen und Energien zu integrieren ist:

$$[A, B] = \int\int\int A\,B\,\mathrm{d}V\,\mathrm{d}\vec{\Omega}\,\mathrm{d}E\,.$$

Die Bedeutung der Operatoren $\boldsymbol{J}$ und $\boldsymbol{K}$ (Produktionsoperator und Verlustoperator) ist unter *allgemeine Reaktorgleichung erläutert.

In diffusionstheoretischer Näherung ist $N = (1/v)\,\Phi(\mathfrak{r}, t, E)$ zu setzen (analog für die Einflußfunktion) und die Integration braucht nur über Volumen und Energie erstreckt zu werden.

Es ist vielfach zweckmäßig, die Beiträge der einzelnen Reaktorzonen zur Reaktivität durch Einführung einer „Reaktivitätsdichte" δk^* voneinander zu unterscheiden, die durch

$$\delta k = \int \delta k^*\,\mathrm{d}V\;;\quad \delta k^* = \left(\frac{\delta k}{\delta\mu}\,\delta\mu\right)_{\mathfrak{r}}$$

definiert ist. Dabei bedeutet μ einen lokalen Parameter, z. B. die Temperatur T, die Dichte ϱ oder die Konzentration z_i eines Stoffes im Reaktor. Es ist dann der Ausdruck

$$\left(\frac{\delta k}{\delta\mu}\right)_{\mathfrak{r}} = \frac{1}{[N^\dagger, \boldsymbol{K}N]}\int\int N^\dagger, \frac{\delta(\boldsymbol{J} - \boldsymbol{K})}{\delta\mu}\,N\,\mathrm{d}E\,\mathrm{d}\vec{\Omega}$$

als (lokaler) „Reaktivitätskoeffizient" bezüglich einer Änderung aufzufassen und es gilt:

$$\delta k = \int\left[\frac{\delta k}{\delta T}\,\delta T + \frac{\delta k}{\delta\varrho}\,\delta\varrho + \sum_i\left(\frac{\delta k}{\delta z_i}\,\delta z_i\right)\right]\mathrm{d}V\,.$$

Im einfachsten Fall handelt es sich um einen großen,

thermischen Reaktor, der mit Hilfe der Alters-Rechnung behandelt werden darf. Es ist dann

$$\boldsymbol{J} = k_\infty \, e^{-B^2 \tau} \, \Sigma_a \, v$$

und

$$\boldsymbol{K} = -\nabla D \, v \, \nabla + \Sigma_a \, v$$

(s. Reaktorgleichung in Diffusionsnäherung) und die Reaktivitätskoeffizienten lauten

$$\left(\frac{\delta k}{\delta \mu}\right)_\tau = \frac{N^2 (\delta/\delta\mu) \, [\Sigma_a \, v \, (k_\infty \, e^{-B^2 \tau} - 1)] - (\nabla N)^2 (\delta/\delta\mu) \, (D \, v)}{\int \Sigma_a \, v \, k_\infty \, e^{-B^2 \tau} N^2 \, dV}$$

Ist der Reaktor homogen und hängt auch $\delta\mu$ nicht vom Ort ab, so ergibt sich einfach

$$\delta k = \frac{\delta [\Sigma_a \, v \, (k_\infty \, e^{-B^2 \tau} - 1)] - B^2 \, \delta (D \, v)}{\Sigma_a \, v \, (1 + L^2 B^2)},$$

wobei B^2 die Flußwölbung und L die Diffusionslänge bedeutet. [13]

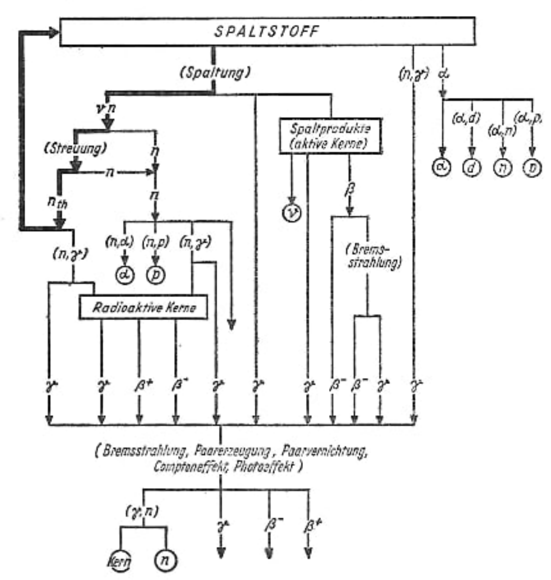
engl.: perturbation theory

franz.: théorie des perturbations

Lit.: Reactor Handbook, Physics (AECD-3645), 1955. – H. Grümm u. K. H. Höcker, Reaktorkinetik und -Störungsrechnung, Erg. d. ex. Naturwiss., Bd. 30, Springer, Berlin, 1958.

Reaktorstrahlung. Ein Reaktor stellt eine intensive Strahlenquelle dar. In der Abb. sind schematisch die vorkommenden Strahlenarten mit ihrer Entstehung und Vernichtung aufgezeichnet. In runden Klammern ist jeweils der Prozeß aufgeführt, der zu einer Umwandlung führt und in einem Kreis stehen Strahlenarten mit kurzer Reichweite. Der stark markierte Weg Spaltstoff – Spaltung – Streuung und Bremsung – thermisches Neutron n_{th} – Spaltstoff wird bei der Berechnung eines Reaktors in Betracht gezogen. Dieser Weg stellt den Neutronenhaushalt dar. Alle anderen Prozesse haben auf diesen Haushalt keinen Einfluß. (Eine Ausnahme sind die (γ, n)-Prozesse. Doch haben sie meist nur kleine Wirkungsquerschnitte.) Die Strahlung außerhalb dieses Kreislaufes ist eine unangenehme Begleiterscheinung. Partikel mit kurzer Reichweite (α, d, p) spielen nur eine untergeordnete Rolle. So verbleiben γ- und β-Strahlungen und radioaktive Kerne mit derselben Strahlung. Durch Prozesse der

Paarbildung, Paarvernichtung, Bremsstrahlung, durch Compton- und Photoeffekt wird die Energie der Strahlung vernichtet und in Wärme umgewandelt. Die neu



ausgesendete γ- und β-Strahlung unterliegt wieder demselben Prozeß usf. bis die Strahlung praktisch vernichtet ist. Zu dieser Vernichtung dient die Abschirmung des Reaktors (s. a. Schild). [26]
engl.: reactor radiation
franz.: radiation du réacteur

Reaktortheorie hat die Berechnung des Reaktors und die Bereitstellung der benötigten Hilfsmittel zur Aufgabe. Dahin gehören als große Gruppen die Berechnung der kritischen Abmessungen bei einer bestimmten Type, Betriebstemperatur und Kühlung (s. Reaktorstatik) und die Berechnung des zeitabhängigen Verhaltens bei Störungen im Reaktorbetrieb, die sich immer in einer Veränderung des effektiven Vermehrungsfaktors k darstellen lassen, sowie die Reaktorregelung (s. Reaktordynamik). Zu den Hilfsmitteln

gehört die Berechnung der Neutronenvermehrung k, die Berechnung der Resonanzintegrale, die *Bremsnutzung, die thermische Nutzung, die Fermische *Alterstheorie. Zur höheren Reaktortheorie gehört die Berechnung von *Bremskernen, der *Einflußfunktion, die *Störungsrechnung. [7]

engl.: reactor theory *franz.: théorie des réacteurs*

Lit.: R. L. Murray, Nuclear Reactor Theory, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1957. – S. Glasstone u. M. C. Edlund, Elements of Nuclear Reactor Physics, van Nostrand, New York, 1955. – F. Cap, Physik und Technik der Atomreaktoren, Springer, Wien, 1957.

Reaktortheorie, makroskopische, untersucht beim heterogenen Reaktor die Flußverteilung über den gesamten Spaltraum, ohne auf Schwankungen der Flußverteilung innerhalb der Reaktorzelle Rücksicht zu nehmen. Diese sind Gegenstand der mikroskopischen Reaktortheorie. Man zerlegt also die Flußfunktion $\Phi(\mathfrak{r})$ in einen schnell und langsam veränderlichen Teil $\Phi'(\mathfrak{r}) \cdot \Phi''(\mathfrak{r})$. Bei der mikroskopischen Theorie wird $\Phi''(\mathfrak{r})$ als so langsam veränderliche Amplitudenfunktion betrachtet, daß man sie als konstant betrachten kann. Bei der makroskopischen Theorie fragt man umgekehrt nach Schwankungen über Räume, die groß gegen die Zellendimensionen sind. Demzufolge kann man die Flußverteilung über die Zelle mitteln. [7]

engl.: macroscopic reactor theory
franz.: théorie macroscopique

Reaktorwärmeleistung. Bei Kernspaltungsreaktoren ist die Erzeugung elektrischer Energie nur mit Hilfe eines Wärmekraftwerkes möglich. Der Reaktor dient dabei nur als Wärmequelle. Die von ihm erzeugte Wärme ist um so wertvoller, je höher die Austrittstemperatur des Reaktorkühlmittels ist. Die elektrische Leistung eines Kraftwerkes ergibt sich als Produkt von Wärmeleistung und *Kraftwerkwirkungsgrad.

Die R. ist der Anzahl der pro Zeiteinheit gespaltenen Atome proportional, und zwar entsprechen $3{,}1 \cdot 10^{10}$ Spaltungen pro Sekunde einem Watt. Die gesamte R. in Watt ist das Volumintegral

$$H = \frac{1}{3{,}1 \cdot 10^{10}} \int \Phi \, \Sigma_f \, \mathrm{d}V$$

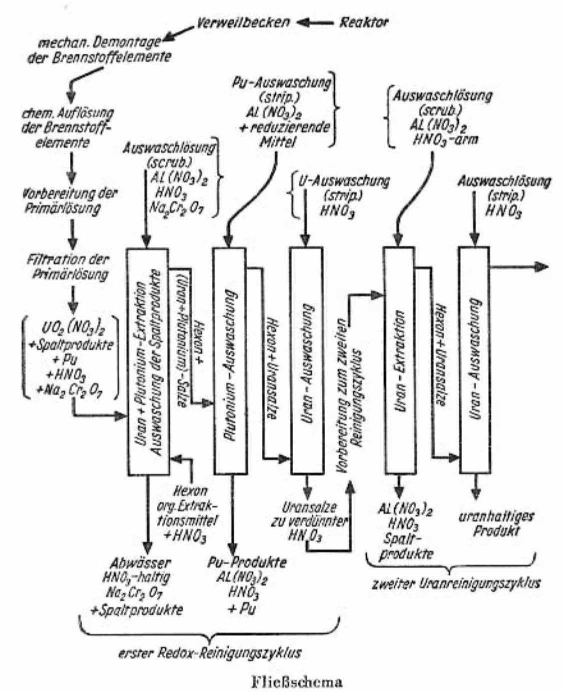
über alle Spaltungen, s. Wärmeerzeugung in Reaktoren. [8]
engl.: thermal power of reactor
franz.: puissance thermique du réacteur

Reaktorzeitkonstante, deutscher Begriff, der für die wörtliche, aber sachlich unzutreffende Übersetzung *Reaktorperiode (*engl.: reactor period*) vorgeschlagen wurde. [7]

Reaktorzelle, s. Zelle.
engl.: cell
franz.: cellule du réacteur

Rechenmaschinen, elektronische, s. Digitalrechenmaschinen und Analogierechenmaschinen.
engl.: electronic computer
franz.: machine à calculer électronique

Redox-Prozeß, Bezeichnung für einen der wichtigsten kontinuierlich arbeitenden Kernbrennstoffaufbereitungsprozesse zur Entgiftung neutronenbestrahlter Brennstoffelemente sowie zur Trennung von Uran und Plutonium voneinander. Der Prozeß arbeitet in flüssiger Phase. Als organisches Extraktionsmittel zur Extraktion von Uran und Plutonium aus wäßriger Lösung wird *Hexon angewandt. Das Uran liegt nach Auflösung in Salpetersäure als Uranylnitrat in der sechswertigen Form vor, in dieser läßt es sich von Hexon leicht aus der wäßrigen Lösung extrahieren. Die Anwesenheit von Aluminiumnitrat als Salzagens beeinflußt den Verteilungskoeffizienten von Uranylnitrat (Gew.% in der organischen Extraktionslösung/Gew.% von U in der wäßrigen Lösung) sehr günstig. Mittels verdünnter Salpetersäure läßt sich das Uranylnitrat bei Abwesenheit von Aluminiumnitrat aus der Hexonphase in die wäßrige Phase zurückführen. Die Extraktion von Uranylnitrat durch Hexon verläuft exotherm. Darum empfiehlt es sich, die Extraktion in kalter, die Rückwäsche in warmer Lösung vorzunehmen. Plutonium läßt sich in sechswertiger Form gut, in der vierwertigen mittelmäßig und in der dreiwertigen überhaupt nicht von Hexon aus der wäßrigen Lösung extrahieren. Um also die Extraktion von Plutonium durch Hexon aus der wäßrigen Lösung zu erleichtern und quantitativ durchführen zu können, führt man das Plutonium vor der



Fließschema

Extraktion mittels $Na_2Cr_2O_7$ quantitativ in die sechswertige Form über. Die Rückwäsche von Plutonium aus der Hexonphase geschieht nach Reduktion des sechswertigen Plutoniums in die dreiwertige, nicht durch Hexon extrahierbare Form mittels leichter Reduktionsmittels wie $Fe(NO_3NH_2)_2$. Günstig ist bei diesem Reduktionsprozeß der Umstand, daß zwar das Plutonium reduziert wird, daß aber das sechswertige Uran in seiner Wertigkeitsstufe verbleibt. Dadurch wurde überhaupt erst eine Trennung von Uran und Plutonium ermöglicht. Da die **Reduktion und Oxydation** für diesen Prozeß charakteristisch sind, hat man ihn kurz „Redox-Prozeß“ genannt. Spaltprodukte lassen sich bis auf Neptunium, Ruthenium, Zirkon und Niob sehr gut separieren. Die Notwendigkeit der Ent-

fernung von Zirkon, Niob und Ruthenium macht die Anwendung aufwendiger, mehrstufiger Extraktionssysteme notwendig. Die Anwesenheit von Siliziumverbindungen gibt oft zur Emmulsionsbildung Anlaß. Als Material der Auflösungsbehälter und der Extraktionskolonnen hat sich Edelstahl sehr gut bewährt, als Dichtungsmaterial wird Teflon und Asbest verwendet.

Prozeßbeschreibung (s. Fließschema): Auflösung des Al-eingehüllten Kernbrennstoffes in 60prozentiger kochender HNO_3 des Zr-eingehüllten in wäßriger HF-Lösung. Die Auflösung in HNO_3 soll so vorgenommen werden, daß die verbleibende Restsäure nach vollständiger Auflösung der Brennstoffelemente möglichst gering sein soll (etwa 2 m./l). Für den ersten R.-P.-Zyklus sind mindestens drei Extraktionskolonnen notwendig. Es empfiehlt sich die Anwendung pulsierender Extraktionskolonnen. 1. Kolonne: Extraktion von Uran und Plutonium (beide in der sechswertigen Valenzform) mittels Hexon, Auswaschung der Spaltprodukte *(engl.: scrub)* mittels einer schwach salpetersauren, $Na_2Cr_2O_7$-haltigen Aluminiumnitratlösung (im Gegenstrom zur Hexonphase fließend). Die Spaltprodukte werden mit der wäßrigen Phase abgeführt. 2. Kolonne: Trennung von Uran und Plutonium voneinander (Uran verbleibt in der Hexonphase *(engl.: strip)*, das Plutonium wird mittels einer schwach salpetersauren, $Fe(NO_3NH_2)_2$-haltigen Aluminiumnitratlösung reduziert, d. h. in die nichtextrahierbare dreiwertige Valenzform übergeführt, es wechselt aus der organischen Hexonphase in die wäßrige Phase über und wird von dieser mitgenommen. 3. Kolonne: Auswaschung von Uran aus der Hexonphase mittels schwach konzentrierter Salpetersäure in Abwesenheit von Aluminiumnitrat. Dieser ersten Vorreinigung und Trennung in der ersten Stufe schließen sich sowohl für das Uran als auch für das Plutonium einige weitere Reinigungszyklen an. Sie bestehen im wesentlichen aus einer Extraktion mittels Hexon aus der wäßrigen Lösung, Auswaschung der Spaltprodukte und Zurückführung des Urans oder Plutoniums in die wäßrige Lösung usw. [22]

engl.: redox process *franz.: procédé redox*

Lit.: TID 7534 (s. Extraktionsprozesse).

Reduziergefäß, s. Siedewasserreaktor.
engl.: flash tank

Reflektor von Kernreaktoren ist ein Mantel aus einer Substanz mit guter *Bremskraft und geringer Neutronenabsorption, der zwischen Spaltzone und Wärmeschild des Reaktors angeordnet ist. Die Anforderungen an einen guten R. sind im wesentlichen dieselben wie an einen guten Moderator, wenn auch geringeres Bremsvermögen durch größere Dicke kompensiert werden kann. Der R. soll den Ausfluß von Neutronen möglichst klein halten. Man kann R.n konstruieren, die 90 % der sonst verlorengehenden Neutronen der Kettenreaktion erhalten. Ihre Wirkung beruht darauf, daß die Neutronen durch Stöße gegen Reflektorkerne mit einer endlichen Wahrscheinlichkeit in den inneren Teil zurückgestreut werden (s. Albedo und Fluß). Die Dicke des R.s sollte zwei bis drei Transportweglängen betragen. Man hat dann praktisch die Wirkung eines unendlich dicken Mantels. Vergleicht man die Maße einer kritischen Brennstoff-Moderator-Anordnung mit denen, die dieselbe Anordnung unter Hinzufügung eines R.s kritisch macht, so ergibt sich eine beträchtliche Ersparnis an spaltbarer Substanz und Moderator durch den R. (engl.: *reflector saving*). [7]
engl.: reflector
franz.: réflecteur

Reflektorwärme entsteht auf gleiche Weise wie die *Moderatorwärme und muß entweder von einem Teilstrom der Reaktorkühlung oder durch separate Kühlung abgeführt werden. [8]
engl.: heat in reflector
franz.: chaleur dissipée dans le réflecteur

Reflexionsdickenmessung, verschiedene Dickenmeßverfahren, bei denen die Tatsache ausgenutzt ist, daß ebene Gegenstände unterhalb einer bestimmten Grenzschichtdicke (z. B. Rückdiffusionsdicke bei β-Strahlen) für durchdringende Strahlung einen schichtdickenabhängigen Reflexionskoeffizienten besitzen. Als Strahlungsarten kommen hierfür in Frage: Röntgen-Strahlung, Gammastrahlung und Betastrahlung. [16]
engl.: thickness control by backscattering
franz.: mesure d'épaisseur par diffusion en retour

Regelabweichung, Differenzwert zwischen dem vorgegebenen Sollwert und dem tatsächlichen Istwert der Regelgröße in einem Regelkreis. Der zur Messung der R. dienende Teil des Reglers wird häufig als besondere, von den anderen Bestandteilen des Reglers getrennte Einheit ausgebildet und heißt dann Komparator. S. a. Regelung. [9]
engl.: error signal *franz.: écart, signal d'écart*

Regelgröße, entscheidende physikalische Ausgangsgröße der zu regelnden Regelstrecke innerhalb eines Regelkreises. Zwecks Regelung wird der tatsächliche Wert der R., der Istwert, mit dem in gleichen Einheiten eingestellten gewünschten Wert der R., dem Sollwert, verglichen. Je nach Größe und Zeitverlauf der Differenz, der *Regelabweichung, wird über einen *Regler eine passende Verstellung der *Stellgröße in die Regelstrecke eingeprägt. [9]
engl.: output signal
franz.: signal de sortie, grandeur de sortie

Regelhub ist diejenige Strecke, die ein Regelorgan, z. B. ein Absorberstab, unter Beeinflussung der zu regelnden Größe (z. B. Neutronenfluß) durchlaufen kann. [7]
engl.: control range *franz.: course de réglage*

Regelkreis, in sich geschlossene Wirkungskette aus *Regler und *Regelstrecke zur Erzielung einer *Regelung. Der R. zur Neutronenflußregelung enthält beispielsweise als Regelstrecke den Reaktor und als Regler Neutronenflußmeßkanal, Komparator, Stellmotor und Steuerorgan. Bei der Leistungsregelanlage eines Kernkraftwerks ist dagegen das gesamte Kraftwerk als Regelstrecke aufzufassen, an der gleichzeitig mehrere Regelgrößen geregelt werden und mehrere Stellgrößen eingreifen. Der einfache R. wird hier durch ein ganzes System zum Teil untereinander verbundener Teil-R.e ersetzt. [9]
engl.: control loop *franz.: chaîne, circuit de contrôle*

Regelorgane, allgemein: Einrichtungen zur schnellen laufenden Verstellung der *Stellgröße eines Regelkreises; speziell: Stellglieder in Neutronenflußregelkreisen, zumeist von Motoren angetriebene Absorberstäbe, -platten oder -arme.

Konstruktiv ähneln die R. häufig den reinen *Trimmorganen, arbeiten aber mit erheblich größerer Stellgeschwindigkeit bei ausreichender Stellgenauigkeit. Der Regelhub wird wegen der großen Stellgeschwindigkeit im Hinblick auf die Gefahr von Startunfällen meistens kleiner als β gewählt. Wegen des ungefähren Verstärkungsfaktors $1/\beta$ zwischen den Reaktivitäts- und den zugehörigen Leistungsschwankungen bei etwa 1 Hz (s. Frequenzgang des Reaktors) muß weiterhin eine Stellgenauigkeit von $\Delta\varrho \leq 10^{-4}$, bzw. auf den Gesamthub bezogen von ≤ 1 % verlangt werden. Diese Genauigkeit bedingt aus mechanischen Gründen fast immer eine Stellzeit von mehr als 10 s und eine Beschleunigungsgrenzfrequenz unterhalb von 10 Hz. Das gilt weitgehend unabhängig von der zu bewegenden Masse (die nur für die Größe der Antriebsleistung von Bedeutung ist) für fast alle elektro-mechanischen Antriebe.
Besondere konstruktive Probleme bestehen, abgesehen von der richtigen Dimensionierung des Motors und Getriebes, bei der laufenden Kühlung des ständig bewegten Absorberteils und bei der Schmierung der Gleitlager in der Nähe starker Strahlungsfelder. Schließlich muß auf eine gute Entkoppelung des Regelorgans gegenüber den Trimmorganen, den Experimentiereinrichtungen und den Meßkanälen geachtet werden. [9]
engl.: fine control mechanism
franz.: organe de réglage, dispositif de réglage
Lit.: s. Abschalten.

Regelstab, spezifisches Regelorgan zur Reaktorregelung mit einem *Absorberstab als physikalischem *Stellglied. Die Konstruktion gleicht prinzipiell der eines *Trimm(abschalt)stabes (s. Absorberstab), bis auf den Unterschied der größeren Steuergeschwindigkeit und der ununterbrochenen Betriebsweise. Daraus folgen schwerere Antriebe, robustere Gleitlager, Wartungsschwierigkeiten, Kühlungsschwierigkeiten am Absorberteil, größerer Platzbedarf. Wegen der großen Beschleunigungen in beiden Bewegungsrichtungen kommen Seiltriebe praktisch nicht in Frage, wegen der notwendigen Gleitdichtungen im allgemeinen auch keine pneumatischen oder hydraulischen

Kolbentriebe. Es bleiben deshalb praktisch nur Zahnstangen- und Spindeltriebe, von denen die „Kugellagerspindel“ besondere Vorteile hinsichtlich Pflege und Dauerhaftigkeit bietet. Falls bei geschmierten Antrieben eine völlige Abkapselung des gesamten Regelelements erforderlich wird, entstehen besondere Kühlungsprobleme. Als Kühlung kommt dann entweder eine besondere Luftspülung oder eine mitbewegte Wasserkühlung mit flexiblen Zuleitungen in Frage. Die übrigen Teile, wie Stellungsanzeiger, Endkontakte, Stoßdämpfer, Trimmnachfolgeschalter, ergeben sich zwangsläufig aus den jeweiligen Konstruktionen. [9]
engl.: (fine) control rod, regulating rod
franz.: barre de contrôle

Regelstab-Antrieb. Die Aufgaben der Regelanlage eines Reaktors sind Leistungsregelung, Reaktivitätsausgleich und Abschaltung. Sie werden bei ausgeführten Reaktoren entweder auf verschiedene Gruppen von Regelstäben (Trimm-, Feinregel- und Sicherheitsstäbe) mit verschiedenen Arten von Antrieben aufgeteilt oder insgesamt von einem Typ übernommen. Die einzelnen Aufgaben bedingen hauptsächlich verschiedene Bewegungsgeschwindigkeiten der Stäbe. Die Trimmstäbe müssen sehr langsam fahren, damit ihre Wirkung nicht die der Feinregelstäbe übersteigt, die Geschwindigkeit der letzteren wird den Zeitkonstanten der Anlage entsprechend festgelegt. Für die Abschaltstäbe wird größtmögliche Geschwindigkeit und sofortiges Ansprechen gefordert. Die Stellung aller Stäbe muß fortlaufend angezeigt werden. Die R.e arbeiten bei den bekannten Reaktoren meist elektrisch, es sind jedoch auch schon pneumatische oder hydraulische Antriebe in Betracht gezogen worden.

Bei Leistungsreaktoren ergibt sich die Notwendigkeit, entweder die Antriebe innerhalb des Druckgefäßes bei hohen Temperaturen und Drucken arbeiten zu lassen oder die Wand des Druckgefäßes mit einer Welle oder ähnlichem zu durchdringen. [8]
engl.: control rod drive
franz.: commande des barres de contrôle

Lit.: M. A. Schulz, Control of Nuclear Reactors and Power Plants, McGraw-Hill, New York, 1955.

Regelstrecke, physikalisches bzw. technisches Objekt innerhalb eines Regelkreises, dessen Ausgangsgröße auf einen vorgegebenen Sollwert geregelt werden soll. Die Ausgangsgröße der R. wird dann zum Unterschied von anderen Übertragern Regelgröße, die zugehörige Eingangsgröße Stellgröße genannt. Ist der Reaktor R., so ist die Regelgröße praktisch das zur Leistung bzw. Temperatur proportionale Meßsignal, während die Stellgröße entweder durch die Stellung der Steuerorgane oder durch die davon abhängige Steuerreaktivität gebildet wird. [9]
engl.: control object
franz.: grandeur à régler

Regelung. Einrichtung, um eine bestimmte physikalische Größe auf einen vorgegebenen Wert zu bringen und dort zu halten. Der Wirkungsablauf erfolgt in einem geschlossenen Kreis, der den Regelkreis bildet. Abb. 1.

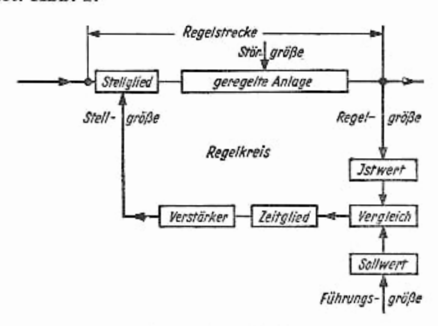


Abb. 1. Regelkreis

Der Regelvorgang beginnt mit der Messung der Regelgröße am Meßort. Der dadurch gefundene Istwert wird mit dem Sollwert, der den vorgeschriebenen Wert der Regelgröße darstellt, verglichen. Die Differenz von Istwert und Sollwert, die Regelabweichung, wird im eigentlichen Regler in eine Stellgröße umgeformt, die das in der Regelstrecke liegende Stellglied so verstellt, daß die Regelabweichung möglichst klein wird, oder verschwindet. Regelstrecke und Regler können nur in der Wirkungs-

 richtung Eingang → Ausgang durchlaufen werden, sie sind gerichtete Glieder.

Der Ablauf eines Regelvorganges wird ausgelöst, entweder durch das Auftreten einer Störgröße, die auf die Regelstrecke wirkt, oder durch beabsichtigtes Verstellen des Sollwertes durch eine Führungsgröße.

Die Güte einer R. drückt sich aus in den Grenzwerten, die nicht überschritten werden dürfen; dies sind die bleibende oder die vorübergehende Regelabweichung und die Ausregelzeit. Letztere zählt vom Überschreiten des zulässigen Höchstwertes der Regelabweichung bis zum Absinken unter diesen Wert.

Es gibt verschiedene Grundformen von Reglern, die sich durch den funktionellen Zusammenhang zwischen Regelabweichung und Stellgröße unterscheiden. Abb. 2.

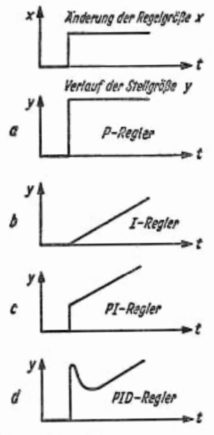


Abb. 2. Grundformen von Reglern

Beim P-Regler ist die Stellgröße proportional der Regelabweichung. Abb. 2 a. Im Beharrungszustand verbleibt eine dauernde Regelabweichung, die den korrigierenden Einfluß des Stellgliedes sichert.

Beim I-Regler ist die Stellgröße proportional dem Zeitintegral der Regelabweichung. Das Stell-

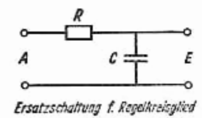
glied läuft so lange, als eine Regelabweichung vorhanden ist, und kommt erst zur Ruhe, wenn diese zu Null geworden ist; es tritt eine nur vorübergehende Regelabweichung auf. Abb. 2 b.
Vergleich von P- und I-Regler: Der P-Regler stellt verhältnismäßig schnell ein Gleichgewicht her, er stabilisiert, er hat aber eine bleibende Regelabweichung, d. h. Differenz zwischen Soll- und Istwert, zur Folge. Der I-Regler arbeitet langsamer, er führt aber die Regelgröße auf den Sollwert zurück, wobei er unter Umständen zum Überschwingen neigt.
Kombination beider Reglerarten ergibt den PI-Regler, der das Gleichgewicht schnell, ohne bleibende Abweichung und ohne nennenswertes Überschwingen herstellt. Abb. 2 c.
Bei besonders hohen Anforderungen an die Regelgeschwindigkeit genügen die vorerwähnten Regler nicht. In diesem Falle läßt man den zeitlichen Differentialquotienten der Regelgröße Einfluß auf den Regler nehmen. Diese Maßnahme führt zum PID-Regler, Proportional-Integral-Regler mit Differentialaufschaltung, oder PI-Regler mit Vorhalt. Abb. 2 d. Hierbei läuft das Stellglied abhängig von der Änderungsgeschwindigkeit der Regelgröße mehr oder weniger weit über die Stellung hinaus, die der Regelabweichung entsprochen hätte; es wird mit der Stellgröße gewissermaßen auf einen Wert vorgehalten, der nach der Änderungsgeschwindigkeit der Regelgröße zu erwarten war. Der Vorhalt kann auch durch Aufschalten der zeitlichen Änderung einer Störgröße gewonnen werden.
Dynamische Eigenschaften: Der Regler soll einer Abweichung der Regelgröße vom Sollwert entgegenwirken, deshalb muß zwischen Regelabweichung und der am Meßort vorhandenen Wirkung des Reglers eine Phasendrehung von 180° bestehen. Enthalten einzelne Glieder des Regelkreises Massen- und Rückstellkräfte, so sind sie mit einer Zeitkonstanten behaftet und verursachen weitere Phasendrehungen, so daß sich zusammen mit der von Natur aus im Regelkreis enthaltenen Phasendrehung von 180° eine Gesamtdrehung von 360° ergeben kann. Hat in diesem Fall eine am Ein-

gang des Reglers liegende Regelabweichung die Kreisfrequenz ω, so erscheint auf dem Weg über Regler und Regelstrecke eine Wirkung, die mit der Ursache in Phase ist. Hat die Wirkung wegen der im Kreis vorhandenen Verstärkung eine Amplitude $\geqq$ der Ursache, so wird die Regelung instabil.

Zwischen Ausgang und Eingang eines Gliedes mit Zeitkonstante besteht die Beziehung

$$\frac{A}{E} = \frac{1}{1 + p\,T} \text{ mit } p = j\,\omega \text{ und } T = R\,C\,.$$

Ein Ersatzbild für ein Regelkreisglied zeigt Abb. 3.



Ersatzschaltung f. Regelkreisglied

Der Frequenzgang für den Gesamtkreis bei beispielsweise drei Gliedern wird dargestellt durch

$$F = \frac{A}{E} = V\,\frac{1}{1 + p\,T_1} \cdot \frac{1}{1 + p\,T_2} \cdot \frac{1}{1 + p\,T_3}$$

mit V Verstärkung.

Bei einer zusätzlichen Phasenverschiebung von 180°, die Voraussetzung für Instabilität ist, wird der im allgemeinen komplexe Quotient A/E reell. Der imaginäre Teil der rechten Seite der Gleichung muß daher Null werden. Bestimmungsgleichung für Frequenz ω, bei der Instabilität eintritt. Die zweite Bedingung für Instabilität lautet: $A/E \geqq 1$; aus $A/E = 1$ errechnet sich die Gesamtverstärkung V, bei der der Kreis gerade instabil wird. V darf also diesen Wert auf keinen Fall erreichen oder überschreiten.

Wünscht man beim P-Regler eine möglichst geringe bleibende Regelabweichung, muß man V möglichst groß machen. Die Gefahr der Instabilität begrenzt die mögliche Verstärkung.

Bei Reaktor-Regelungen auf dem Weg über den Neutronenfluß ist der PI-Regler sehr gut geeignet. [10]

engl.: automatic control

franz.: réglage (automatique)

Lit.: J. Harrer u. J. Deshong, Discontinous Servo for Control of Power Reactors, Nucleonics 12, Nr. 1, S. 44, 1954. – H Chestnut u. a., Servomechanisms and Regulating System Design, Wiley, New York, 1951. – H. W. Bode, Network Analysis and Feedback Amplifier Design, van Nostrand, New York, 1954. – R. C. Oldenbourg u. H. Sartorius, Dynamik selbsttätiger Regelungen, R. Oldenbourg, München, 1951. – W. Oppelt, Kleines Taschenbuch technischer Regelvorgänge, Verl. Chemie, Weinheim, 1956. – BBC-Nachrichten 39, 1957, Heft 3, S. 122. – Normblatt DIN 19 266.

rhm, englische, i. a. nicht mehr gebräuchliche Größe, die die Dosisleistung eines Präparates in Röntgen je Stunde angibt, wobei sich das punktförmige Präparat in 1 m Luftabstand vom Meßort befindet. S. Dosiskonstante. [6]

Regelung, automatische, ist eine ältere Bezeichnung für den genormten Begriff *Regelung. [9]

Regelungstheorie, mathematische Theorie zur Beurteilung und Optimalisierung von *Regelungen. Für die Reaktorsteuerung hat besonders die noch in den Anfängen stehende nichtlineare R. Bedeutung. [9]
engl.: theory of control systems
franz.: théorie du réglage

Regler, umfaßt im weitesten Sinn alle außerhalb der Regelstrecke angebrachten Meß-, Schalt- und Steuereinrichtungen eines Regelkreises bzw. -Netzwerks. Im engeren Sinne ist der R. ein Gerät mit einem Eingang für die von einem geeigneten Meßgerät abgenommene Regelgröße, einer Einstellmöglichkeit für den Sollwert und einem Ausgangssignal für einen geeigneten Stellgrößenantrieb. Alle Regler enthalten irgend eine Einrichtung zur direkten oder indirekten Ermittlung des Unterschiedes zwischen Istwert der Regelgröße und vorgegebenem Sollwert (*Regelabweichung). Nach der Art und Weise, wie das Resultat des Ist-Sollwert-Vergleichs zu einem Signal für die Stellgröße verarbeitet wird, unterscheidet man zwischen: P-Reglern (Proportional-R.), I-Regler (Integral-R.), PI-Regler (Proportionalintegral-R.), PID-Regler (PI-Regler mit zusätzlicher Aufschaltung des Differentialquotienten der Regelabweichung), nichtlineare Regler (mit amplitudenabhängigen Regeleigenschaften), Mehrfachregler mit linearer oder nichtlinearer Mischung mehrerer Eingangsgrößen für eine Stellgröße, Schrittregler und Stufenregler (s. a. Regelung). [9]
engl.: controller *franz.: règleur*

Regulus, Bezeichnung für den Metallkuchen, der sich bei der Reduktion von Metallverbindungen oder beim Schmelzen von Metallen unter der Schlacke bildet. [20]

engl.: derby oder *dingot*

Reibung, innere, s. Viskosität.

engl.: internal friction *franz.: frottement interne*

Reibungskraft im Plasma. Der Begriff der R. wurde von A. Einstein in seiner bekannten Theorie der Brownschen Bewegung eingeführt. Es handelt sich dabei um eine Kraft, die auf ein „Brownsches Teilchen" von den Teilchen der Umgebung infolge kumulativer intermolekularer Wechselwirkung ausgeübt wird (s. Fokker-Planck-Gleichung), und die der freien Diffusionsbewegung entgegenwirkt. Die R. wurde vielfach in der Theorie der Elektrolyte verwendet und so lag es nahe, sie auch auf ein Plasma anzuwenden (Schlüter). Phänomenologisch wird die R. im Plasma dem Produkt aus einem Reibungskoeffizienten ε_{rs}, den Teilchendichten n_r, n_s und der Differenz der mittleren Geschwindigkeit $\bar{\mathfrak{v}}_r$, $\bar{\mathfrak{v}}_s$ zweier Gase gleichgesetzt,

$$\mathfrak{K}_{R,rs} = \varepsilon_{rs}\, n_r\, n_s (\bar{\mathfrak{v}}_r - \bar{\mathfrak{v}}_s) \; .$$

Die R., die eine Komponente r durch Wechselwirkung mit mehreren Komponenten s erfährt, ist somit

$$\mathfrak{K}_{R,r} = \sum_s \mathfrak{K}_{R,rs} = \sum_s \varepsilon_{rs}\, n_r\, n_s (\bar{\mathfrak{v}}_r - \bar{\mathfrak{v}}_s) \; .$$

Es gilt dabei (wie mit Hilfe des Impulssatzes nachgewiesen werden kann)

$$\sum_r \mathfrak{K}_{R,r} = \sum_r \sum_s \mathfrak{K}_{R,rs} = 0 \, .$$

In der strengen kinetischen Theorie der Plasmen (s. hydromagnetische Gleichungen) ist die R. gleich dem „Coulomb-Integral" mit umgekehrtem Vorzeichen ($\mathfrak{K}_{R,r} = -\,\mathfrak{C}_r$). [27]

engl.: dynamical friction

franz.: force de frottement

Lit.: S. Chapman and T. G. Cowling, Mathematical Theory of Non-uniform Gases, Cambridge Univ. Press, London, 1952. – L. Spitzer Jr., Physics of Fully Ionized Gases, Interscience Publ., New York, 1956. – A. Schlüter, Z. Naturforsch. 5 a, 72 (1950); 6 a, 73 (1951). – M. H. Johnson and E. O. Hulburt, Phys. Rev. 79, 802 (1950). – M. H. Johnson, Phys. Rev. 84, 566 (1951).

Reichweite. Beim Durchgang von geladenen schweren energiereichen Teilchen, also z. B. von α-Strahlen, Protonenstrahlen usw., durch Materie verlieren die Teilchen ihre Energie allmählich dadurch, daß sie die auf ihrem Weg durchquerten Atome ionisieren (s. Ionisation und Ionisation, spezifische). Die Strecke, nach der sie im Mittel ihre gesamte Energie verloren haben, also praktisch zur Ruhe kommen, heißt ihre R. Da der gesamte Energieverlust sich statistisch aus sehr vielen Einzelverlusten zusammensetzt, ist die R. zwar nicht völlig scharf, aber praktisch doch innerhalb eines sehr engen Spielraums definiert. Sie hängt bei gegebenem absorbierendem Material unter gegebenen Bedingungen (bei Gasen: unter gegebenem Druck und gegebener Temperatur) für jede Teilchenart eindeutig von der ursprünglichen Energie der Teilchen ab. Diese Abhängigkeit nennt man die *Energie-Reichweite-Beziehung (dort auch Zahlenwerte der R.).
Elektronen werden wegen ihrer kleinen Masse durch elastische Stöße mit den Elektronen und Kernen der durchsetzten Materie um so häufiger und stärker aus ihrer Richtung abgelenkt, je langsamer sie sind. Die Ionendichte längs ihrer Bahn ist erheblich kleiner, ihre Durchdringungsfähigkeit erheblich größer als für schwere Teilchen gleicher Energie, solange Ionisierungen maßgebend für den Energieverlust sind (dagegen nicht mehr im Bereich der *Bremsstrahlung). Eine Energie-Reichweite-Beziehung wie bei schweren Teilchen gibt es praktisch nicht.
Bei Strahlen, welche beim Durchgang durch Materie eine exponentielle oder ähnliche Intensitätsabnahme zeigen, wie z. B. γ-Strahlen oder Neutronenstrahlen, gibt es keine scharf definierte R. Man bezeichnet hier die Strecke, auf welcher die Intensität auf $1/e$ (e Basis der nat. Logarithmen) sinkt, häufig als „mittlere R.“ [1, 7]

engl.: range *franz.: portée*

Lit.: W. Riezler, Kernphysik, 6. Aufl., Oldenbourg, München, 1958.

Reinelement. Chemisches Element, das nur aus einem stabilen Isotop besteht. Von den 90 in der Natur vorkommenden Elementen sind nur 22 R.e. Die übri-

gen Elemente setzen sich aus mehreren (bis zu 10) Isotopen zusammen. Bekannte Elemente, die als R. vorkommen, sind: Beryllium, Fluor, Natrium, Aluminium, Phosphor, Kobalt, Jod, Cäsium, Gold, Wismut. [3]
engl.: pure element *franz.: élément pur*

r-Einheit, s. Röntgen - Einheit.

Reinheit, radiochemische, chemische Reinheit einer radioaktiven Substanz in bezug auf andere radioaktive Substanzen, wobei weniger die Gewichtskonzentration der Verunreinigung betrachtet wird als das Maß, in welchem zur radioaktiven Strahlung der reinen Substanz von der Verunreinigung stammende Strahlung hinzukommt. Der Wert der chemischen Reinheit kann also sehr beträchtlich von dem der radiochemischen Reinheit abweichen. [16]
engl.: radiochemical purity
franz.: pureté radiochimique

Rekombinationsanlage. Bei leicht- und schwerwassermoderierten Reaktoren und insbesondere bei homogen gelöstem Brennstoff bildet sich unter dem Einfluß der Strahlung Knallgas. Dies kann unerwünschte Folgen haben wie Schwerwasserverlust und Explosionsgefahr. Deshalb sind Schwerwasser- und wäßrige homogene Reaktoren mit Anlagen zur Rekombination (kalter Verbrennung) des Knallgases ausgerüstet. Unter anderem dient dabei Platin als Katalysator. [8]
engl.: recombiner system
franz.: installation de recombinaison

Rekristallisation, Gefügewandlung durch Kornneubildung nach vorausgegangener Kaltverformung. Die R. findet bei Glühen oberhalb einer bestimmten Temperatur statt; diese R.-Schwelle ist abhängig vom Verformungsgrad und vom Werkstoff. Als Faustregel gilt: R.-Temperatur ungefähr $^2/_3$ der absoluten Schmelztemperatur. In dem durch *Versetzungen und andere *Gitterfehlstellen gestörten Kristallgitter des verformten *Gefüges entstehen dabei neue Keime, deren Zahl und Wachstumsgeschwindigkeit die Korngröße im rekristallisierten Gefüge bestimmen. Die Korngröße nimmt mit steigendem Verformungsgrad und steigender Glühtemperatur ab. Bei gewissen Metallen (z. B.

Aluminium, Kupfer, Alpha-*Messing) kann man jedoch auch durch hohe Verformungsgrade und Glühtemperaturen ein sehr grobkörniges Gefüge erzielen (sekundäre R.) und dadurch Einkristalle herstellen. Infolge der orientierungsabhängigen Wachstumsgeschwindigkeit der Keime hat das rekristallisierte Gefüge häufig eine Vorzugsorientierung (*Textur), welche mit der Verformungstextur in Zusammenhang steht. [4]

engl.: recrystallisation *franz.: récristallisation*

Lit.: G. Masing, Lehrbuch d. allg. Metallkunde, Springer, Berlin, 1950.

Rektifikation ist ein thermisches *Grundverfahren zur Trennung von Flüssigkeitsgemischen. Sie baut auf der *Destillation auf, d h. sie verwendet die Verdampfung des Flüssigkeitsgemisches und die Kondensation des Dampfes. Als entscheidendes Prinzip der R. tritt die Anwendung von Gegenstrom zwischen Kondensat und Dampf ohne Wärmeaustausch mit der Umgebung hinzu. Der Vorgang stützt sich auf die Gleichgewichtskurve, die die Beziehung zwischen der Dampfzusammensetzung und der Flüssigkeitszusammensetzung (in

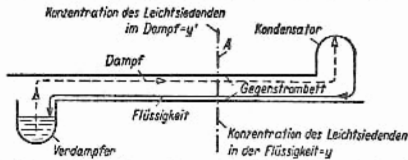


Abb. 1. Schematische Darstellung des Gegenstromprinzips bei der Rektifikation.

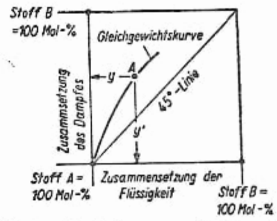


Abb. 2. Schematische Darstellung der Gleichgewichtskurve eines (idealen) binären Gemisches.

einem geschlossenen Gefäß unter unmittelbarer Berührung von Dampf und Flüssigkeit miteinander im stationären Zustand) angibt. Exakte Daten lassen sich all-

 gemein nur für ein Zweistoffgemisch bestimmen. Auf der Abszisse, Abb. 2, sind die Möglichkeiten der Zusammensetzung des Flüssigkeitsgemisches der Komponenten A und B von 0 bis 100 mol-Prozent aufgetragen, auf der Ordinate die entsprechenden der Dampfzusammensetzung. Wären beide (im Gleichgewicht) gleich, ergäbe sich eine unter 45° geneigte gerade Linie. Eine R. wäre dann nicht möglich. Aber i. a. ist das nicht der Fall: Die Kurve ist gekrümmt und fällt nur $A = 100\,\%$

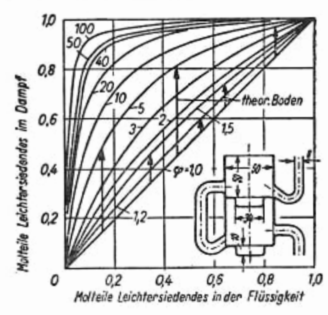


Abb. 3. Konzentrationsänderung auf einem Boden für verschiedene Dampfdruckverhältnisse φ der beiden Komponenten.

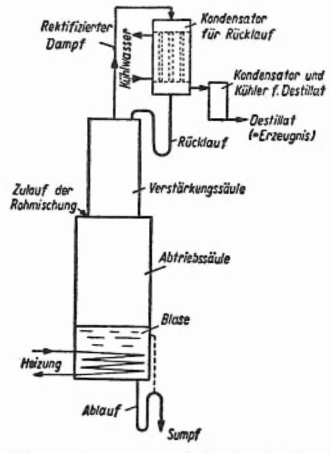


Abb. 4. Schema einer stetig arbeitenden Rektifizierkolonne.

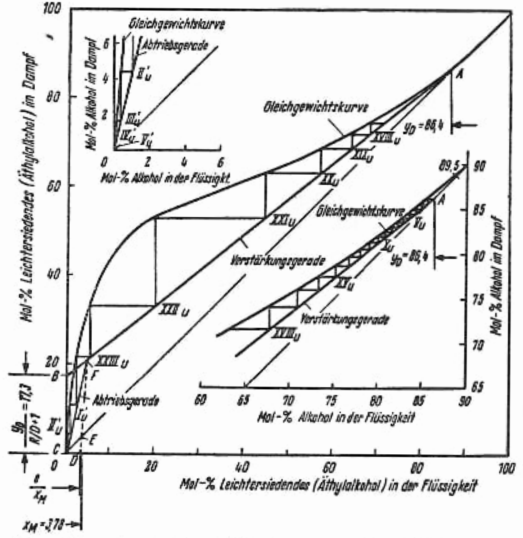


Abb. 5. Bestimmung der Boden-Zahl nach dem McCabe-Thiele-Verfahren.

(links unten) und $B = 100\,\%$ (rechts oben) mit der 45°-Linie zusammen. Um eine R. zu ermöglichen, müssen also Dampf und Flüssigkeit im Gleichgewicht verschieden zusammengesetzt sein. Zur praktischen Ausführung wird eine Säule angewendet, an deren unterem Ende („Blase") das Flüssigkeitsgemisch durch Erhitzen verdampft und an deren oberem Ende („Kopf") der Dampf kondensiert wird, s. Abb. 4. Da der Dichteunterschied zwischen Dampf und Flüssigkeit erheblich ist, strömt der Dampf D nach oben zum Kondensator, die kondensierte Flüssigkeit (Rücklauf R), also im Gegenstrom, nach unten. Ein Teil des Kondensates wird als „Erzeugnis" E dem Kondensator entnommen $R/E = v$ nennt man das Rücklaufverhältnis. Vorausberechnung einer *Rektifiziersäule (oder -kolonne) erfordert die Kenntnis der Gleichgewichtskurve (vgl. *Solventextraktion). Sie kann außerordentlich verschiedene Formen haben, je nach dem, ob ein ideales Gemisch (Raoultsches Gesetz:

Partialdruck gleich Dampfdruck mal Molkonzentration in der Flüssigkeit im ganzen Konzentrationsbereich), teilweise Löslichkeit oder azeotrope Punkte (in denen die Dampf- und Flüssigkeitszusammensetzung gleich ist, die Gleichgewichtskurve also die 45°-Linie schneidet oder berührt) vorliegen. Im Gleichgewicht unterscheiden sich die Konzentrationen von Dampf und Flüssigkeit an dem leichter siedenden Bestandteil um die Differenz zwischen Gleichgewichtskurve und 45°-Linie auf einer der jeweiligen Flüssigkeitskonzentration entsprechenden Senkrechten („Pfeilhöhe"), Abb. 4. Auf einem Boden (s. Rektifiziersäule) der Trennsäule erfährt der Dampf eine diesem Wert entsprechende Konzentrationsänderung. Sie heißt kurz „theoretischer Boden". Das Verhältnis der wirklich erreichten Konzentrationsänderung, der „praktische Boden", zur theoretisch erreichbaren, also zum theoretischen Boden, nennt man das „Verstärkungsverhältnis", ähnlich etwa einem Wirkungsgrad. Zur Erzielung einer bestimmten vorgegebenen Konzentrationsänderung braucht man i. a. mehrere bis sehr viele theoretische Böden. Die Berechnung ihrer Zahl (i. a. nur für binäre Gemische) ist die grundlegende Aufgabe bei der Auslegung einer *Rektifiziersäule. Man verwendet dazu entweder ein Enthalpie-Konzentrations-(i, ξ-) Diagramm oder das McCabe-Thiele-Verfahren (letzteres, wenn die molaren Verdampfungswärmen beider Komponenten praktisch gleich und konstant sind; Troutonsche Regel). Das letztere ergibt, wenn alles Kondensat zurückläuft, also $R/E = v = \infty$ ist, die Mindestzahl der theoretischen Böden als Treppenlinienzug zwischen Gleichgewichtskurve und der 45°-Linie, also Bodenzahl gleich Zahl der Treppenstufen. Für ein vorgegebenes Rücklaufverhältnis v und eine geforderte Endkonzentration des Dampfes an Leichtersiedendem konstruiert man die Verstärkungs- (auch Bilanz- oder Austausch-) Gerade und bildet wiederum den Treppenlinienzug, jetzt aber zwischen Gleichgewichtskurve und der Verstärkungsgeraden. Das mit unendlich vielen Böden erzielte Rücklaufverhältnis nennt man das Mindestrücklaufverhältnis. Zur Erreichung der bestmöglichen Trennwirkung

ist es erforderlich, *Wärme- und *Stoffaustausch zwischen Dampf und Flüssigkeit so innig wie möglich zu machen. Das ist Aufgabe der konstruktiven Gestaltung der *Rektifiziersäule, etwa als *Bodenkolonne, *Füllkörperkolonne oder Kolonne mit rotierenden Einsätzen. Die R. wird zur Trennung von Isotopen verwendet. Da das Dampfdruckverhältnis der reinen Komponenten bei den meisten Isotopengemischen nur wenig von 1 verschieden ist, ist für eine wirksame Isotopentrennung durch Destillation eine oftmalige Wiederholung des Prozesses erforderlich, die in Rektifikationskolonnen durchgeführt wird. Rektifikationskolonnen sind in vielen Formen ausgeführt worden (Füllkörperkolonnen, Bodenkolonnen, Kolonnen mit rotierenden Einsätzen usw.). Am unteren Ende befindet sich ein Verdampfer, der das flüssige Isotopengemisch verdampft, so daß der Dampf nach oben aufsteigt; am oberen Ende wird der Dampf durch einen Kondensor kondensiert, so daß er als Flüssigkeit nach unten fließt. In jedem Boden stellt sich das Gleichgewicht q zwischen Dampf und Flüssigkeit ein, so daß der Gesamttrennfaktor bei vollständigem Rücklauf durch $Q = q^Z$ gegeben ist (Z = Zahl der [theoretischen] Böden). Bei endlichem Rücklaufverhältnis wird der Gesamttrennfaktor verringert. Isotopentrennungen durch R. werden zweckmäßig wenig oberhalb des Tripelpunktes durchgeführt, da hier die Dampfdruckverhältnisse am größten sind. [2, 14]

engl.: rectification *franz.: rectification*

Lit.: E. Kirschbaum, Destillier- und Rektifiziertechnik, 2. Aufl., Berlin, 1950.

Rektifiziersäule oder Rektifizierkolonne

Rektifiziersäule oder Rektifizierkolonne. Die R. dient zur technischen Durchführung der *Rektifikation. Zur Verwirklichung des Rektifikationsprinzips (Gegenstrom von Dampf und Flüssigkeit unter inniger Berührung; hoher Dichteunterschied zwischen Flüssigkeit und Dampf) wird sie i. a. als senkrechtes zylindrisches Rohr (s. Reaktionsapparate) ausgeführt. Im unteren Teil, der B l a s e , wird z. B. mit Heizdampf das zu rektifizierende Flüssigkeitsgemisch erhitzt und verdampft. Je nach der ermittelten Bodenzahl (vgl. Rektifikation) ist die Höhe der Säule zu wählen und sind

geeignete Einbauten zu machen, um den Gegenstrom von Flüssigkeit und Dampf zu realisieren. Die Säulen werden als *Füllkörper- oder *Bodenkolonnen ausgeführt. Am oberen Ende, dem K o p f , wird der Kondensator angeordnet, von dem aus ein Teil des Kondensats als Rücklauf gegen den aufsteigenden Dampf in der Säule zurückströmt, ein anderer Teil als Erzeugnis – denn der kondensierte Dampf ist ja wesentlich reicher an Leichtersiedendem als das ursprüngliche Ausgangsflüssigkeitsgemisch – entnommen wird. Im Dampf erfolgt eine nach oben zunehmende Anreicherung an der leichtersiedenden Komponente des Ausgangsgemisches. Die R. kann absatzweise oder stetig betrieben werden. Im letzteren Falle läßt man das zu trennende Ausgangsgemisch stetig etwa in der Mitte der Säule zutreten und von dort nach unten, zur beheizten Blase, fließen. Den unteren Teil der Kolonne nennt man A b t r i e b s s ä u l e , denjenigen oberhalb der Zuflußstelle V e r s t ä r k u n g s s ä u l e. Die Ausführungsformen richten sich sehr nach dem zu trennenden Gemisch, der zu erzielenden Konzentration der getrennten Komponenten und dem vertretbaren Anlagenpreis. Sie sind in der Praxis stets Kompromisse zwischen den einander widersprechenden Forderungen. Die Zahl der Konstruktionsformen ist ungeheuer vielfältig. Zur Rektifikation von Mehrstoffgemischen werden mehrere Säulen hintereinander geschaltet. Auch die Gewinnung von verflüssigten Gasen erfolgt – bei entsprechend tiefen Temperaturen – in Rektifiziersäulen, u. a. auch die Trennung der Isotope des Wasserstoffs $^{1}_{1}H$ und $^{2}_{1}H$. S. Abb. 4 bei Rektifikation. [2]

engl.: fractionating column

franz.: colonne de rectification

Lit.: Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, 3. Aufl., München-Berlin, 1951, Bd. 1: Chemischer Apparatebau und Verfahrenstechnik (dort weitere Hinweise, s. S. 470).

Relaxationszeit, s. Kaskade.

engl.: relaxation time

franz.: temps de relaxation

rem, Abk. von roentgen equivalent men, bezeichnet die absorbierte Dosis irgendeiner ionisierenden Strahlung, die die gleiche biologische Wirksamkeit hat wie 1 rad einer R ö n t g e n - Strahlung mit einer mitt-

leren spezifischen Ionisation von 100 Ionenpaaren/μ Wasser, bezogen auf Luft, in dem gleichen Bereich. Die Dosis in rem entspricht der Dosis in rad multipliziert mit dem entsprechenden RBW-Faktor. [28]

rep, Abk. von roentgen equivalent physical. 1 rep ist diejenige Menge irgendeiner ionisierenden Strahlung, bei der eine Energieabsorption von 93 erg/g Gewebe erfolgt. Die Einheit soll nach internationalem Übereinkommen nicht mehr benutzt werden; sie ist durch *rad ersetzt. [28]

RES, s. Retikuloendotheliales System.

Reservefaktor, s. Reserveleistung.

Reserveleistung, vorgesehene, eines Kraftwerkes ist der Unterschied zwischen *Engpaßleistung und der vorgesehenen höchsten Belastung des Werkes. Bezieht man diesen Begriff auf ein einzelnes Anlageteil, z. B. den Reaktor, so bedeutet er die Differenz von installierter Reaktorleistung und der vorgesehenen höchsten Belastung der Reaktoranlage. Neben der R. ist der Begriff des R e s e r v e f a k t o r s in Gebrauch, der durch den Quotienten aus Engpaßleistung und vorgesehener Höchstlast definiert ist. [21]
franz.: puissance de réserve, marge de sécurité

Resonanz, statistische, s. Sieben.
engl.: statistical resonance
franz.: résonance statistique

Resonanzabsorption, Absorption eines Neutrons in einem der Resonanzniveaus des Mediums während des Bremsvorgangs; im übrigen s. Resonanzeinfang.
engl.: resonance absorption
franz.: absorption par résonance

Resonanzdetektor, s. Nachtrag.

Resonanzdurchlaßwahrscheinlichkeit, s. Bremsnutzung.

Resonanzeinfang von Neutronen durch Atomkerne, Einfang eines Neutrons in ein bestimmtes *Resonanzniveau des Verbundkerns (s. Resonanzenergie). Ein Atomkern hat ebenso wie die Atomhülle bestimmte Energieniveaus. In diesen Energieniveaus sind die Nukleonen (bzw. die Elektronen) im Grundzustand und in angeregten Zuständen gebunden. Die Niveaus im Kern sind entsprechend zu den analogen Verhält-

nissen in der Atomhülle für den Einfang von Kernbausteinen wichtig. Die Differenzen zwischen den Niveaus reichen von einigen eV bis zu 1000 eV. Ein Nukleon kann einen Kern bevorzugt anregen, wenn es eine Energie von der Größe der *Resonanzenergie hat, s. Breit-Wigner-Formel. Die Breite des Resonanzniveaus beträgt oft nicht mehr als 0,1 eV. Die Lebensdauer der angeregten Zustände kann so groß sein, daß ein eingeschossenes Nukleon nicht wieder sogleich emittiert wird, sondern daß die Anregungsenergie durch ein γ-Quant abgeführt wird, oder daß Spaltung eintritt. In diesem Fall spricht man von R. oder Resonanzabsorption.

Der R. von Neutronen spielt eine große Rolle bei der Energieerzeugung aus der Kernspaltung. Der entscheidende Energiebereich liegt zwischen 1 und 100 eV. Bei Natururan hat die Resonanzlinie des ^{238}U bei 6,7 eV den größten Einfluß. Einmal behindert dieser Prozeß den Ablauf der Kernkettenreaktion, weil er ständig Neutronen aus dem Kreislauf herauszieht, zum anderen trägt er wesentlich zur Bildung des ^{239}Pu bei, das, wenn die Kernkettenreaktion eine Weile gelaufen ist, vom Uran abgetrennt werden kann und dann seinerseits als Energielieferant dient. Die Entstehung des Plutoniums erfolgt nach folgenden Gleichungen:

$$^{238}\mathrm{U}\ \ (\mathrm{n},\gamma)\ \ ^{239}\mathrm{U}\,,$$

$$^{239}\mathrm{U} \xrightarrow[23\ \mathrm{min}]{\beta^-} {}^{239}\mathrm{Np}\,,$$

$$^{239}\mathrm{Np} \xrightarrow[2{,}3\ \mathrm{d}]{\beta^-} {}^{239}\mathrm{Pu}\,.$$

Der Wirkungsquerschnitt für den R. von 6,7 eV-Neutronen durch ^{238}U beträgt $7000 \cdot 10^{-24}$ cm^2. Das ^{238}U hat mehrere Resonanzstellen, die teilweise recht dicht liegen, im Bereich von 6,7 bis 200 eV. R. tritt auch bei spaltbaren Kernen (^{233}U, ^{235}U, ^{239}Pu, ^{241}Pu) auf. Hier ist eine nachfolgende Spaltung weit häufiger als Emission eines γ-Quants. Darauf gründet sich der Betrieb der mittelschnellen Reaktoren. S. a. Resonanzparameter.

Eine Anzahl anderer Kerne, die ausgeprägte Resonanzen haben, werden als Detektoren für Neutronen der Resonanzenergie benützt (Cd, In, Rh). Durch den Einfang eines Neutrons entsteht zunächst ein Zwischenkern mit einer Anregungsenergie von etwa 7 MeV. Nach Abgabe dieser Energie oder des größten Teils dieser Energie in Form von γ-Strahlung verbleibt ein Neutronenüberschuß. Der Restkern ist deshalb meistens radioaktiv. Bei einigen Substanzen liegt der R. nahe bei thermischen Energien, z. B. ist bei Cadmium das Maximum der Resonanz bei 0,18 eV. – Das Spektrum der emittierten γ-Strahlung hängt von der Atomart ab. Leichte Elemente ergeben einige wenige Linien, während schwere Elemente ein fast kontinuierliches Spektrum zeigen. Nur schwere Elemente mit „magischer" Ordnungszahl zeigen wenige Linien. Die Maximalenergie der γ-Linien liegt ungefähr bei 3 MeV. [7, 17]
engl.: resonance capture *franz.: capture résonante*

Resonanzenergie, die kinetische Energie eines Teilchens, gemessen im Beobachtersystem, das mit einem Kern unter Anregung von Resonanzniveaus in Wechselwirkung tritt. Maßgeblich hierfür ist die Struktur des Verbundkerns (Teilchen + Kern der betreffenden umgebenden Materie des Auffängers). Zwischen der Anregungsenergie E^* des Verbundkerns und der R. des Teilchens besteht unter Berücksichtigung der verschiedenen Massen von Verbund- und Auffängerkern die einfache Beziehung:

$$E_{\text{Res}} = (E^* - E_B)\,\frac{M_V}{M_A}\,.$$

E_B ist die Bindungsenergie des Teilchens an den Auffängerkern. S. a. Resonanzeinfang. [7]
engl.: resonance energy *franz.: énergie de résonance*

Resonanzentkommwahrscheinlichkeit. Schlechte wörtliche Übersetzung des englischen *resonance escape probability*. Als brauchbare deutsche Begriffe sind *Bremsnutzung oder Resonanzdurchlaßwahrscheinlichkeit üblich. [7]

Resonanzintegral. Das R. ist der wesentliche Teil bei der Darstellung der *Bremsnutzung p. Bei deren Berechnung kommt es auf die Zahl derjenigen Neu-

tronen an, die während des Bremsprozesses im Brennstoff, Moderator und Strukturmaterial absorbiert werden. Man zeigt in den üblichen Lehrbüchern, daß

$$p(E) = \exp\left(-\int\limits_{E}^{E_0} \sigma_{r\,\mathrm{eff}} \frac{\mathrm{d}E}{E}\right), \tag{1}$$

wobei im Exponenten das e f f e k t i v e R. steht. Dabei ist für den schnellen Fluß das Gesetz $\Phi(E) \sim 1/E$ angenommen. Der Integral $\sigma_{r\,\mathrm{eff}}$ ist um so größer, je stärker die Absorption ist (Σ_a), und um so kleiner, je besser die Streuung (Bremsung) und damit der Aufenthalt des Neutrons im fraglichen Energiebereich ist $[\xi\,\Sigma_s$ bzw. $\xi\,\Sigma = \xi(\Sigma_s + \Sigma_a)]$, also

$$\sigma_{r\,\mathrm{eff}} = \frac{\Sigma_a}{\xi\,\Sigma}. \tag{2}$$

Das effektive R. kann in verschiedenen Formen geschrieben werden, die je nach Sachlage verwendet werden:

$$\int\limits_{E}^{E_0} \frac{\Sigma_a}{\xi(\Sigma_s + \Sigma_a)} \frac{\mathrm{d}E}{E} = \int\limits_{E}^{E_0} \frac{\Sigma_a}{\xi\,\Sigma_s} \frac{1}{1 + \Sigma_a/\Sigma_s} \frac{\mathrm{d}E}{E} \tag{3}$$

$$= \frac{N_U}{\xi\,\Sigma_s} \int\limits_{E}^{E_0} \frac{\sigma_{a\,U}}{1 + (N_U \cdot \sigma_{a\,U})/\Sigma_s} \frac{\mathrm{d}E}{E} \tag{4}$$

Für ein System mit sehr wenig Uran geht (4) über in das g e w ö h n l i c h e R.

$$\int\limits_{E}^{E_0} \sigma_{a\,U} \frac{\mathrm{d}E}{E}.$$

Das effektive R. ist nur mühselig numerisch auszuwerten. Daher benützt man gewöhnlich experimentell geprüfte Formeln für $\sigma_{r\,\mathrm{eff}}$ (in barn), und zwar bei

verdünnter homogener Mischung und (nicht absorbierendem) Moderator: 240,

konzentrierter homogener Mischung von U und Moderator $(\Sigma_s/N_U$ 1000 b): $3{,}9 \cdot (\Sigma_s/N_U)^{0{,}415}$,

reinem Uranmetall: 9,25,

Uranmetallstücken, wobei S/M das Verhältnis von Oberfläche zu Masse ist,

klassische Formel: $9{,}25\,(1 + 2{,}67\,S/M)$,
nach Marklin und Pomerance:

$$A\left(1 + \frac{\mu}{r_0 + M/S}\right). \qquad [7]$$

engl.: resonance integral
franz.: intégrale de résonance

Lit.: R. L. Murray, Nuclear Reactor Physics, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1957. – S. Glasstone u. M. C. Edlund, The Elements of Nuclear Reactor Theory, van Nostrand, New York, 1952. – F. Cap, Physik und Technik der Atomreaktoren, Springer, Wien, 1957.

Resonanzlinie, analog zur Spektrallinie, s. Linienbreite und Resonanzabsorption.
engl.: resonance line *franz.: ligne de résonance*

Resonanzneutronen sind solche Neutronen, deren Energie in der Nähe der Resonanzniveaus des Mediums liegen, in dem sie diffundieren. Zum Beispiel liegen die Resonanzen des Urankerns 238 zwischen 6 eV und 200 eV. Die in diesem Energiebereich diffundierenden Neutronen heißen daher R. [7]
engl.: resonance neutrons
franz.: neutrons de résonance

Resonanzniveau, s. Nachtrag.

Resonanzparameter heißen diejenigen charakteristischen Größen, die den Verlauf des Wirkungsquerschnittes in der Umgebung der Resonanzstelle charakterisieren (s. Breit-Wigner-Formel). Dazu gehören insbesondere die Halbwertsbreiten Γ für Neutronen- und Gammaemission sowie für Spaltung. [7]
engl.: resonance parameters
franz.: paramètre de résonance

Lit.: D. I. Hughes u. I. A. Harvey, Neutron Cross Sections, BNL 325, 1955, Suppl. I, 1957.

Restaktivität ist diejenige Radioaktivität in einem Reaktor, die nach Abschalten verbleibt. [7]
engl.: residual activity
franz.: activité rémanente, activité résiduelle

Retention. Der Bruchteil bzw. Prozentsatz an radioaktiven Atomen, der sich nach der Entstehung dieser Atome vom Ausgangsmaterial nicht trennen läßt. [3]
engl.: retention *franz.: rétention*

Retikuloendotheliales System (RES) bilden die sich mit bestimmten Farbstoffen besonders stark an-

färbenden Zellen gewisser Organe (Leber, Milz, Knochenmark), die für zahlreiche Stoffwechsel- und Immunisierungsvorgänge bedeutungsvoll sind. [28]
engl.: reticulo-endothelial system
franz.: réticulo-endothélial système

Reynolds-Zahl (Re), s. laminare und turbulente *Strömung.
engl.: Reynolds-No. *franz.: nombre de Reynolds*

rezessiv, svw. verdeckt bleibend, s. Mutation.
engl.: recessive *franz.: récessif*

Rhenium, Re, metallisches Element der Ordnungszahl 75, Atomgewicht 186,22, Schmelzpunkt 3170 °C, Dichte 20,9, Einfangsquerschnitt für thermische Neutronen $\sigma = 86$ barn. Re wurde von W. und I. Noddack 1925 röntgenspektroskopisch entdeckt. Wegen seines hohen Schmelzpunktes wird Re bzw. seine Legierungen zur Herstellung von Glühdrähten verwendet. Thermoelemente mit Re haben eine 3–4mal größere Thermokraft als normale Edelmetallkombinationen. Das natürlich vorkommende Re enthält zu 62,9 % das Isotop Re-187, einen β-Strahler von $5 \cdot 10^{10}$ a Halbwertszeit.

$$^{187}_{75}\mathrm{Re} \xrightarrow[5 \cdot 10^{10}\,\mathrm{a}]{\beta^-} {}^{187}_{76}\mathrm{Os}$$

[3]

engl.: rhenium *franz.: rhénium*

Rhenium 186 und 188, zwei Isotope, die durch Neutronenaktivierung hohe spezifische Aktivität er-

Eigenschaften:

Isotop	Erzeugung	Halbwertszeit	Strahlung	spez. Sättigungsaktivität durch 10^{13} n/cm² s
^{186}Re	^{185}Re(n, γ)	3,7 d	β^-, γ El. Einfang	32 c/g
^{188}Re	^{187}Re (n, γ)	16,9 h	β^-, γ	35 c/g

[16]

reichen können. Sie eignen sich deshalb für radiometrische Verschleißmessungen sehr harter Metalle, in denen es als Legierungskomponente vorkommt (z. B. Schreibfedern).

Rheotron, s. Elektronenschleuder.
engl.: rheotron, betatron *franz.: rhéotron*

Rhodium 104, 105 und 106. ^{105}Rh und ^{106}Rh sind radioaktive Tochtersubstanzen der Rutheniumisotope 105 und 106, welche durch Neutronenbestrahlung bzw. bei der Uranspaltung entstehen. ^{106}Rh stellt als Abkömmling des mit 1 Jahr Halbwertszeit zerfallenden ^{106}Ru eines der wenigen kurzlebigen Isotope dar, welche fern von der Aktivierungsmaschine durch chemische Abtrennung gewonnen werden können, abgesehen davon, daß unter Umständen die chemische Abtrennung der Muttersubstanz wegen ihrer außerordentlich weichen β-Strahlung nicht nötig ist. ^{104}Rh gehört mit ^{110}Ag und ^{110}In zu den Isotopen, die besonders leicht durch Neutronenaktivierung hergestellt werden können.

Tabelle der gebräuchlichen Ruthenium- und Rhodiumisotope

Isotop	Erzeugungsreaktion	Halbwertszeit	Strahlung [MeV]
$^{97}_{44}$Ru	^{96}Ru (n, γ)	2,8 d	γ 0,1 . . . 0,6
	^{98}Ru (n, 2n)		Elektroneneinfang
^{103}Ru	^{102}Ru (n, γ)	40 d	β^-: 0,12; 0,23
	^{104}Ru (n, 2n)		γ: 0,055 . . . 0,61
^{105}Ru	^{104}Ru (n, γ)	4,5 h	β^-: 1,15, γ: 0,73
^{106}Ru	U (n, f)	1 a	β^-: 0,039
$^{104}_{45}$Rh*	^{103}Rh (n, γ)	4,4 m	i. Ü.; γ: 0,051
^{104}Rh	^{103}Rh (n, γ)	44 s	β^-: 2,5, γ: 0,56
^{105}Rh	Tochter v. ^{105}Ru	37 h	β^-: 0,57, γ: 0,32
^{106}Rh	Tochter v. ^{106}Ru	30 s	β^-: 3,53, γ: 0,51

[16]

engl.: rhodium *franz.: rhodium*

Rhombisch, s. Kristallstruktur.
engl.: rhombic *franz.: rhombique*

Richtungsfokussierung. In einer Anordnung von elektrischen und magnetischen Ablenkfeldern (s. Ab-

lenkung, elektrische und magnetische) spricht man von R., wenn die Bahnen aller geladener Teilchen gleicher spezifischer Ladung, die von einem Punkt aus mit derselben Geschwindigkeit, dagegen in etwas verschiedener Richtung in das Feld hineinlaufen, sich wieder in einem Punkte schneiden, was sich durch einen speziellen Feldverlauf erreichen läßt. Eine sehr vollkommene R. wird für Elektronen mit elektrischen und magnetischen Elektronenlinsen erreicht; doch darf selbst hier das ursprüngliche Strahlenbüschel nur sehr wenig geöffnet sein, damit die „sphärische Aberration" genügend klein bleibt. Eine andere wichtige Anwendung der R. haben wir im *Massenspektrographen; dort wird mit besonderem Erfolg die R. mit der *Geschwindigkeitsfokussierung zur *Doppelfokussierung vereinigt. [1]
engl.: directional focussing
franz.: focalisation des directions

Rippen. Bei gasgekühlten Reaktoren werden im allgemeinen die Heizflächen von Reaktor und Wärmetauschern durch R. vergrößert. Wegen des innerhalb der R. auftretenden Temperaturabfalls (R.-Wirkungsgrad) wird nur ein Teil der Heizflächenvergrößerung für die Erhöhung des Wärmeübergangs wirksam. Beim Kraftwerk Calder Hall (England) sind die Brennstoffstäbe mit querangeströmten Kreis-R. versehen worden. (Brennstoffelemente des Kraftwerkes Calder-Hall siehe Bd. I, Abb. 3, Seite 167.) [8]
engl.: fins *franz.: ailettes*
Lit.: E. Hofmann, Wärmedurchgangszahlen von Rippenrohren bei erzwungener Strömung, Z. f. d. ges. Kälteindustrie, S. 84, 1944.

Risö, neues dänisches Atomforschungs- und Reaktorentwicklungszentrum der staatlichen dänischen Atomenergiekommission am Roskilde-Fjord, ca. 30 km westlich Kopenhagens. Standort der ersten drei geplanten Forschungsreaktoren. [24]

Risley, Sitz der für „Atomenergieerzeugung" zuständigen Industrial Group der britischen Atomenergiebehörde (UKAEA) in Lancashire. In ihren Händen liegt Errichtung und Betrieb der „Atomfabriken" der AEA für Isotopentrennung in *Capenhurst, Uranherstellung in *Springfields, Plutoniumerzeugung in

*Windscale, Brutreaktorentwicklung in *Dounreay sowie der zugehörigen Produktionsreaktoren (*Calder Hall, *Chapel Cross). [24]

Ritzsches Verfahren zur Lösung von Variationsproblemen. Man sucht ein günstiges vollständiges Funktionensystem, wobei jede Funktion den Randbedingungen des Problems genügt. Die Entwicklungskoeffizienten sind zu bestimmen. [7]
engl.: Ritz method *franz.: méthode de Ritz*
Lit.: Hylleraas, Z. f. Phys. 54, 347, 1929.

r-Meter, Dosimeter, geeicht in Röntgen. [16]
engl.: r-meter *franz.: compteur-r*

RNS, Abk. für Ribonukleinsäuren, die sich aus einer organischen Base und dem Zucker d-Ribose zusammensetzen. Während der Zuckeranteil immer konstant ist, können folgende Basen auftreten: Adenin, Guanin, Hypoxanthin, Uracil, Cytosin. Die Verbindung zwischen den beiden Komponenten (Base + Zucker) bezeichnet man als Nukleosid, wird der Zucker mit einem Mol. Phosphorsäure verestert, so ist ein Nukleotid entstanden. Nukleotide können zu Polynukleotiden zusammentreten, wobei folgende Struktur gewählt wird:

```
Phosphors. — Ribose — Base
               |
             Phosphors. — Ribose — Base
                            |
                          Phosphors. — Ribose — Base
                                         |
                                        etc.
```

Ribonukleinsäuren sind vorwiegend Bestandteile des Protoplasmas, werden jedoch im Kern gebildet und finden sich dort im Kernkörperchen (Nukleolus). [28]
Lit.: B. Flaschenträger und E. Lehnartz, Physiol. Chemie, die Stoffe, Bd. I. – H. Bredereck, Purin und Pyrimidinverbindungen, in: Physiol. Chemie, Die Stoffe, Bd. I, hrsg. v. B. Flaschenträger u. E. Lehnartz, S. 796 ff., Springer, Berlin, 1951.

Rockwellhärte. Härteprüfverfahren, bei welchem die Eindringtiefe einer Diamantspitze oder Stahlkugel, mit einer Vorlast von 10 kg und mit einer Hauptlast von 150 kg belastet, als Maß für die *Härte des Materials genommen wird. [4]
engl.: Rockwell hardness *franz.: dureté Rockwell*
Lit.: DIN 50 103.

Röhrenschutzgehäuse. Im modernen Röntgen-Betrieb wird keine Röntgen - Röhre offen verwendet. Sie sind alle von „Schutzhauben" umgeben. Die Haube soll zwei Aufgaben erfüllen: den Schutz vor der Hochspannung und einen möglichst großen Schutz vor den Strahlen außerhalb des Strahlenkegels.

Die heute verwendeten Hauben umschließen fast völlig die Röhren und bestehen meist aus Metall oder Porzellan mit metallischem Überzug. Sie werden gut leitend mit der Erde verbunden, so daß selbst ein Hochspannungsdurchschlag im Innern keine Folgen für den Menschen haben kann.

Zur Isolation zwischen den Hochspannungspolen und der geerdeten Außenhülle wird bei Metallhauben Luft oder Öl bzw. das Haubenporzellan verwendet. Meist werden heute Ölhauben verwendet. Die Öffnung zum Austritt der Nutzstrahlung ist bei den Ölhauben mit einem Plexiglasfenster verschlossen, das nach innen gewölbt ist, damit die Strahlung möglichst wenig Öl durchsetzen muß. Außen an dem Fenster kann der sog. Tubus angebracht werden. Bei Tiefentherapieröhren kann das Austrittsfenster durch eine Bleischeibe verschlossen werden – den Abdeckschieber – der lt. Vorschrift durch eine Fernschaltung bedient werden muß.

Der Strahlenschutz der Hauben wird durch eine entsprechend dicke Bleipanzerung – teils innen bei den Metallhauben und teils außen bei den Porzellanhauben erfüllt. Es ist allerdings zu betonen, daß dieser Schutz bis heute noch nicht so vollständig erreicht wurde wie bei dem Schutz vor der Hochspannung.

Die Bezeichnung „Vollschutzhaube" bezieht sich nur auf den Hochspannungsschutz, aber nicht auf den Strahlenschutz. [28]

franz.: enveloppe de protection, blindage

Rohrpost, Anlage, um eine Kapsel (Rohrpostbüchse) mit zu bestrahlender Substanz in den Reaktor einzuschließen. Die Rohrpostbüchse wird durch ein für diesen Zweck vorgesehenes Rohr durch Druckluft oder Ähnliches in das Reaktorinnere geschleudert und daraus entfernt. Dadurch wird ermöglicht, daß sehr kurzlebige Substanzen untersucht werden können. [7]

engl.: rabbit *franz.: lapin*

Rollblende, s. Blende.

Röntgen (r). In der vom Internationalen Radiologenkongreß (Chicago 1939) festgelegten und von der Internat. Com. on radiol. Units (ICRU, Kopenhagen 1953) bestätigten Formulierung lautet die Definition des r in deutscher Übersetzung: „Das Röntgen ist eine solche Menge einer Röntgen- oder Gammastrahlung, daß die damit verbundene Korpuskularemission pro 0,001293 g Luft Ionen in Luft erzeugt, die eine elektrostatische Einheit der Elektrizitätsmenge beiderlei Vorzeichens tragen." 1 r entspricht einer Ionendosis von $2{,}08 \cdot 10^9$ Ionenpaare/cm^3 in Luft von 0 °C und 760 Torr. [7]

Lit.: F. Kohlrausch, Praktische Physik, Bd. II, 20. Aufl., Teubner, Stuttgart, 1956.

engl.: r-unit *franz.: unité r*

Röntgen-Interferenzen. Da die Röntgen-Strahlen Wellenstrahlen von der Größenordnung 1 Å (in ihrem mittleren Gebiet) sind (s. Röntgen-Strahlen) geben sie an Strichgittern bei streifendem Einfall und an Atomgittern Anlaß zu Interferenzen. Der Gedanke dazu stammt von v. Laue, Friedrich und Knipping (1912).

1. Strichgitterinterferenzen. Sie dienen hauptsächlich zur Bestimmung der Wellenlänge von Röntgenstrahlen. Die Genauigkeit dieser Absolut-Bestimmung der Röntgen-Wellenlänge ist sehr hoch.

2. Interferenzen an Atomgittern.

Die regelmäßig angeordneten Atome eines Kristalls wirken auf die einfallende Röntgen-Strahlung wie ein Raumgitter (analog dem Strichgitter). Jedes Atom wird durch die einfallende Röntgen-Welle angeregt und die Hüllenelektronen geraten in Schwingung. Die schwingenden Elektronen bilden einen Dipol, der seinerseits Wellen aussendet. Durch die phasenrichtige Superposition der von allen Atomen des Streukörpers herrührenden Wellen in einem Aufpunkt erhält man die „Interferenz" in diesem Aufpunkt. Der Zusammenhang zwischen den Abständen der streuenden Atome und der Amplitude im Aufpunkt wird mathematisch durch eine Fourier-Transformation beschrieben.

Je nach dem Aufbau des Streukörpers unterscheidet man Kristallgitterinterferenzen, Flüssigkeitsinterferenzen, Interferenzen amorpher Stoffe und je nach Verfahren Laue-I. (I. von Bremsstrahlung an Einkristallen), Bragg-I. (I. von monochromatischer Röntgen-Strahlung an Einkristallen), Debye-Scherrer-I. (I. von monochromatischer Strahlung an regellos liegenden Kriställchen $\gtrapprox 10^{-5}$ cm Linearausdehnung) u. a. Die wichtigsten Eigenschaften dieser Interferenzen sind:

1. Der Atomformfaktor, das Streuvermögen eines einzelnen Atoms, nimmt mit dem Beugungswinkel ab.
2. Das Streuvermögen nimmt mit dem Quadrat der Ordnungszahl zu.
3. Durch den Compton-Effekt tritt eine zusätzliche, leicht eliminierbare inkohärente Streuung auf.

Auf Grund dieser Interferenzen kann man die Gitterkonstante feststellen, die Elektronendichteverteilung berechnen, die Größe der Kristallite (oder Mizellen) bestimmen und die Ausrichtung dieser Kristallite ermitteln. Damit wurde die Röntgen-Strukturuntersuchung zu einem wesentlichen Hilfsmittel bei der Erforschung des Zustandes der Materie.

Zur Registrierung der Interferenzen werden die photographische Schicht, das Zählrohr und der Szintillationszähler benützt. [26]

engl.: X-ray interferences

franz.: interférences de rayons X

Lit.: R. Glocker, Materialprüfung mit Röntgenstrahlen, 4. Aufl., Springer, Berlin, 1958. – M. v. Laue, Röntgenstrahl-Interferenzen, Akad. Verl. Ges., Leipzig.

Röntgen-Linien, s. Röntgen-Spektren.

Röntgen-Serie, s. Röntgen-Spektren.

Röntgen-Spektrometer (Röntgen-Spektrograph). Apparat zur Aufnahme eines Röntgen-Spektrums. Der primäre Röntgen-Strahl, dessen Spektrum aufgenommen werden soll, fällt hierbei auf einen Kristall, der sich langsam dreht und somit allen Wellenlängen die Möglichkeit zur Reflexion gibt. Die Intensität der reflektierten Strahlung wird durch eine Photoplatte oder ein Zählrohr registriert. [26]

engl.: X-ray spectrometer

franz.: spectromètre à rayons X

Röntgen-Spektrum. Die Intensitätsverteilung als Funktion der Frequenz bzw. Wellenlänge eines R ö n t g e n - Strahls bezeichnet man als R.-S. Ähnlich wie beim Licht gibt es ein kontinuierliches R.-S. (Bremsspektrum) und ein R ö n t g e n - Linienspektrum. Das B r e m s s p e k t r u m entsteht bei der Abbremsung der Elektronen eines Elektronenstrahls hoher Energie durch ein Hindernis (Materie). Die Form des Brems-S. hängt nur wenig vom Material des Hindernisses ab, sondern fast ausschließlich von der Energie der abgebremsten Elektronen. Das Energiespektrum hat eine kurzwellige Grenze, die sich aus $h\,\nu_{\text{max}} = k$ berechnen läßt, wenn k die kinetische Energie des abgebremsten Elektrons ist. Von dieser Grenze an durchläuft die Energieverteilung ein Maximum. Dieses verschiebt sich mit wachsendem ν_{max} in Richtung zur Grenze hin. Das R ö n t g e n - L i n i e n s p e k t r u m (charakteristisches R.-S.) hängt dagegen vom Material des Hindernisses ab. Es ist genau, wie die optischen Linienspektren, die charakteristische Ausstrahlung, welche durch den Übergang angeregter Atome von einem höheren zu einem tieferen Energieniveau zustande kommt. Somit hat jedes Element sein R ö n t g e n - Linienspektrum. Zur Entstehung des Spektrums tragen vor allem die innersten Elektronen (*K*-, *L*-, *M*-Schale) bei. Daher erhält man bei einer chemischen Verbindung die Spektren der einzelnen Elemente und nicht, wie im optischen Fall, das Spektrum der Verbindung. Die einzelnen Linien kann man in ein Termschema einordnen (R ö n t g e n - Terme). Die einzelnen Gruppen faßt man dabei in Serien zusammen (*K*-, *L*-, *M*-Serie), wo z. B. die *K*-Serie von allen Linien gebildet wird, die auf dem *K*-Niveau enden. [26]

engl.: X-ray spectrum *franz.: spectre de rayons X*

Lit.: M. Siegbahn, Spektroskopie der Röntgenstrahlen, Springer, Berlin, 1931.

Röntgen-Strahlen, eine kurzwellige elektromagnetische Wellenstrahlung von etwa 10^{-6} bis 10^{-12} cm Wellenlänge. Als Einheit der Wellenlänge dient $1\ \text{Å} = 10^{-8}$ cm oder $1\ \text{X.E.} = 1{,}00202 \cdot 10^{-11}$ cm. Nach langen Wellen hin schließen sie sich an das Ultraviolett an, überlappen sich aber stark mit diesem Ge-

 biet. Man kommt mit reinen R.-S.-Methoden bis zu Wellenlängen von etwa 600 Å (entsprechen ca. 20 eV). Die wichtigsten Anwendungsgebiete der R.-S. liegen jedoch zwischen 1 und 0,01 Å (10^4 und 10^6 eV). Nach höheren Frequenzen ist die Grenze nur technisch durch die erreichbare Energie der Elektronenstrahlen gegeben, welche die R.-S. erzeugen. Diese liegt z. Z. bei etwa 1000 MeV, was einer Wellenlänge der R.-S. von 0,00001 Å oder 0,01 X-Einheiten entspricht. Völlig eingebettet in dieses Gebiet, bei Größenordnungen der Quantenenergie von 1 MeV, liegen die γ-Strahlen der radioaktiven Stoffe (s. Radioaktivität), welche sich nur ihrer Entstehungsart nach, nicht aber im Wesen und in ihren Eigenschaften von den R.-S. unterscheiden.

Die Erzeugung der R.-S. geschieht durch Abbremsung von Elektronen oder schweren geladenen Teilchen (Protronen, α-Teilchen usw.) durch ein Hindernis (Antikathode) in einer Röntgen-Röhre, einer Elektronenschleuder, einem Linearbeschleuniger, einem Synchroton u. ä. Hierbei erhält man das Bremsspektrum (nur bei Elektronen) und (für Elektronenenergien unter 100 keV) die charakteristische Röntgen-Strahlung (s. Röntgen-Spektrum) des Antikathodenmaterials.

Die R.-S. können nachgewiesen werden durch die Schwärzung der photographischen Platte, durch die Ionisationskammer, das Zählrohr und den Szintillationszähler. Die Eigenschaften der R.-S. entsprechen denen des Lichtes. R.-S. breiten sich geradlinig aus, sie haben einen Brechungsindex, der allerdings nahe bei 1 ist, und können polarisiert werden.

Die einem R.-S.-Bündel entzogene Energie erscheint als Elektronenstrahlung und als Wellenstrahlung (charakteristische *Röntgen-Strahlung). Die Gesetze der Absorption der R.-S. sind einfacher als diejenigen der Absorption von Licht. Die individuellen Unterschiede der Stoffe treten zurück. Es bleibt im wesentlichen die Dichte ϱ und die Ordnungszahl des absorbierenden Stoffes: je größer beide, desto stärker im allgemeinen die Absorption. Die Absorption der R.-S. in Materie gehorcht einem Exponentialgesetz, sofern man monochromatische Strahlung und einen Fadenstrahl voraus-

setzt. Die Intensität I nach dem Durchlauf einer Schichtdicke x errechnet sich aus der Anfangsintensität I_0 zu

$$I = I_0 \, e^{-\mu x} .$$

μ heißt *Schwächungskoeffizient, er wird in cm^{-1} gemessen und über $\mu = N \sigma_R$ auf den mikroskopischen Wirkungsquerschnitt für R.-S. zurückgeführt. Oberhalb und unterhalb der *Absorptionskanten gilt näherungsweise

$$\mu = \text{const} \cdot \varrho \cdot \lambda^3 \cdot Z^3 .$$

Genaue Werte sind Tabellen zu entnehmen. [1, 26]
engl.: X-rays *franz.: rayons X*
Lit.: R. Glocker, Materialprüfung mit Röntgenstrahlen, 4. Aufl., Springer, 1958.

Röntgen-Strahlung, charakteristische, Linienspektrum der Eigenstrahlung (Fluoreszenzspektrum) des Anodenmetalles, das sich bei entsprechenden Anregungsbedingungen dem kontinuierlichen Bremsspektrum überlagert. Sie entsteht erst, wenn ein bestimmter Spannungswert (Anregungsspannung) überschritten wird. Das charakteristische Spektrum enthält im Unterschied zum Bremsspektrum nur einige wenige Wellenlängen, die sich im Spektrum als Linien manifestieren. Ihre Lage ist unabhängig von der Spannung und nur abhängig von der Ordnungszahl des Anodenmaterials. [28]
engl.: characteristical X-radiation
franz.: radiation X caractéristique

Röntgen-Term, s. Röntgen-Spektrum.

Rossi-(Koinzidenz-)Schaltung. Von B. Rossi 1930 veröffentlichte Mehrfach-Koinzidenzschaltung zur Analyse der Wechselwirkung von Teilchen der kosmischen Strahlung, bei der die koinzidierenden Signale nicht auf ein einzelnes Teilchen zurückgeführt werden können. In der einfachsten Form befinden sich die Zähler in den Ecken eines Dreiecks. [6]
engl.: Rossi circuit
franz.: montage à coincidence Rossi

rostfrei nennt man jeden Stahl, der unter diesem Stichwort als korrosionsbeständig bezeichnet ist, also vor allem die ferritischen Chromstähle und die austenitischen 18/8-Stähle (V 2 A). [4]
engl.: stainless *franz.: inoxydable*

Rotationsbestrahlung. Bei der R. handelt es sich um eine R ö n t g e n - Bewegungs-Bestrahlung, bei der im Gegensatz zu dem sonst üblichen Standardgeräten der Patient während der Bestrahlung von einer mit einem Motor versehenen Mechanik in langsamer aber dauernder Rotation gehalten wird.

Ziel dieser Bestrahlungsanordnung ist es, durch die Rotation des Patienten am Krankheitsherd eine möglichst hohe Dosierung zu erreichen, ohne das gesunde umgebende Gewebe derselben starken Belastung auszusetzen. S. Strahlentherapie. [28]

engl.: rotational x-ray therapy

franz.: radiothérapie rotatoire, rotothérapie

Rotguß. Kupfer-Zinn-Zink-Legierung, vielfach mit Bleizusatz. R. hat ein weites Verwendungsgebiet, z. B. im Apparate- und Armaturenbau, auch als Lagermetall. [4]

engl.: gun metall, red brass *franz.: fonte rouge*

Rubidium (Rb). Alkalimetall mit der Ordnungszahl 37, Atomgewicht 85,48, Schmelzpunkt 39,0 °C, Siedepunkt 696 °C, Dichte 1,53, Einfangsquerschnitt für thermische Neutronen $\sigma = 0{,}7$ barn. Natürliches Rb enthält zu 27,85 % das radioaktive Isotop Rb-87, einen β-Strahler von $6{,}2 \cdot 10^{10}$ a Halbwertszeit.

$$^{87}_{37}\mathrm{Rb} \xrightarrow[6{,}2 \cdot 10^{10}\,\mathrm{a}]{\beta^-} {}^{87}_{38}\mathrm{Sr}$$

[3]

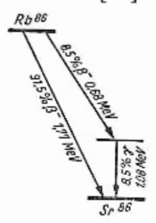
engl.: rubidium *franz.: rubidium*

Rubidium 86, radioaktives Isotop mit einer Halbwertszeit von 19,5 d und β, γ-Strahlung. Das Isotop ist neben Caesium 134 und 137 ein Alkaliisotop, welches längere Halbwertszeit mit größerer erreichbarer spezifischer Aktivität vereinigt. Es wird deshalb häufig zur Markierung anderer Alkalimetalle benützt, auch wenn die entsprechenden Elemente eigene radioaktive Isotope aufweisen. Das Isotop entsteht durch Neutronenbestrahlung von natürlichem Rubidium im Atomreaktor neben ^{88}Rb.

S t r a h l u n g s d a t e n :

Halbwertszeit: 19,5 d

spez. Sättigungsaktivität: 10 mc/g bei einem Neutronenfluß von 10^{11} cm^{-2} s^{-1}. [16]



Zerfallsschema des ^{86}Rb

Rückdiffusion, Rückdiffusionsdicke, s. Betarückstreuung.
engl.: back diffusion
franz.: diffusion en retour, rétrodiffusion

Rückhalteträger. Bei der Durchführung von chemischen Fällungsreaktionen wird bei Anwesenheit eines unwägbaren Radionuklids zur Vermeidung von Mitfällungen ein dem radioaktiven isotopes Element oder ein ihm chemisch ähnliches Element in wägbarer Menge zugesetzt. Dieser Zusatz wird als R. bezeichnet. [3]
engl.: hold-back carrier
franz.: agent de rétention

Rückholmechanismus bei Abschaltorganen, Einrichtung zum Rücktransport eines Abschaltorgans aus der Abschaltstellung in die Bereitschaftsstellung. An den R. werden im Hinblick auf evtl. Startzwischenfälle die gleichen Anforderungen wie an die Antriebe der Trimmorgane gestellt. Aus diesem Grunde und wegen der besseren Steuerkennlinie bei Beginn der Abschaltung wird der R. häufig direkt als Trimmantrieb konstruiert und fest mit der Abschaltkupplung verbunden, so daß kombinierte *Trimmabschaltorgane entstehen. [9]
engl.: scram rod transport mechanism
franz.: mécanisme d'effacement

Lit.: M. A. Schultz, Control of Nuclear Reactors and Power Plants, McGraw-Hill, New York, 1955. – Reaktorbeschreibungen in Peaceful Uses of Atomic Energy, Bd. 2 u. 3, Genf, 1955.

Rückholzeit, minimaler Zeitbedarf nach einem *Schnellschluß zur Wiederherstellung der vorher be-

stehenden Abschaltbereitschaft. Insbesondere bei *Abschaltorganen mit mechanischen Absorber-, Brennstoff- oder Reflektorbewegungen ist R. der Zeitbedarf für den *Vorlauf zur erneuten Herstellung der Verbindung zwischen Absorberteil und Transportmechanismus und zum Rücktransport in die Bereitschaftsstellung am Rande der Spaltzone. Bei Moderatorspiegeländerungen, Flüssigkeitszuläufen oder Druckänderungen ist die Zeit zum Zurückpumpen gemeint. Besonders kurze R.n ergeben sich bei drehbaren Absorberarmen mit Reibscheibenkupplungen für den Schnellschluß, da hier die Vorlaufzeit wegfällt. Bei Verwendung kombinierter *Trimmabschaltelemente entfallen zusätzliche Trimmzeiten für den Start (5 ... 50 min). – Bei Trimmabschaltstäben mit langer Vorlaufzeit wird oft eine unterschiedliche Ein- und Ausfahrgeschwindigkeit empfohlen (bis etwa 1 : 10). Mittel dazu sind: Differentialgetriebe mit zwei verschieden schnellen Motoren für nur jeweils eine Drehrichtung (viel Platzbedarf), polumschaltbare Motoren (Gefahr von Schaltfehlern) oder Gleichstrommotoren mit spannungsabhängiger Drehzahlsteuerung (Gefahr von Spannungsfehlern). [9]

engl.: loading time
franz.: délai de retour au régime normal

Rücklauf, 1. s. Rektifikation, 2. automatisch einsetzende Abschalttrimmung nach einem entsprechenden Signal des Sicherheitssystems.

Der R. soll einerseits den Reaktor bei Fehlern, die nicht augenblicklich gefährlich sind, sicher abschalten, andererseits dem Bedienungspersonal die Möglichkeit zu korrigierenden Eingriffen bzw. definierter Leistungsherabsetzung geben, bevor der Reaktor völlig abgeschaltet worden ist. Die Operation steht in naher Beziehung zum *Rückstellen, bei dem der Sollwert der automatischen Neutronenflußregelung auf einen tieferen Wert eingestellt wird. Der R. erfordert einerseits große Aufmerksamkeit, wenn die Leistungsverminderung definiert aufgefangen werden soll, bietet aber andererseits die Sicherheit, daß der Reaktor bei Versagen des Personals auch wirklich ganz abgeschaltet wird. Er ist deshalb als Schutzmaßnahme gegen alle

Störungen geeignet, bei denen der Reaktor langfristig unbedingt abgeschaltet werden muß, die jedoch so langsam ansteigen, daß auf einen *Schnellschluß verzichtet werden kann.

Typische Fälle dieser Art von Störungen sind: Undichtigkeit gegenüber radioaktiven Substanzen, beginnende Hüllenschäden an den Brennstoffelementen, Versagen der Knallgasrekombinationsanlagen bei Wasserreaktoren usw. [9]

engl.: reverse

franz.: 1. *contre-courant,*
2. *compensation automatique de dépassements accidentals*

Lit.: s. Sicherheitssystem.

Rücklaufverhältnis, s. Rektifikation.

Rückreaktion. Reaktion, die als Endprodukt die vor der Radiolyse vorhandenen Verbindungen zurückliefert. Zum Beispiel bei der Radiolyse von Wasser entstehen die Zersetzungsprodukte H, OH, H_2 und H_2O_2, die unter Strahlenwirkung wieder miteinander reagieren und Wasser bilden:

$$H_2O_2 + H_2 \rightarrow 2\,H_2O\,. \qquad [18]$$

engl.: back reaction

franz.: réaction inverse, réaction de recombination

Rückstandskennlinie, s. Körnung.

franz.: raie caractéristique d'un dépôt

Rückstellen, durch ein besonderes Signal des Sicherheitssystems erzwungenes automatisches Tiefersetzen (*Tiefstellen) des Sollwertes der Neutronenflußregelung. Das R. dient zum Schutz gegen Fehler am Reaktor, die nicht momentan gefährlich sind, auf längere Zeit aber doch eine Herabsetzung der Leistung erfordern.

Typische Beispiele sind: zu hohe, direkte Strahlung in der Umgebung des Reaktors, langsames Ansteigen der Eintrittstemperatur des Kühlmittels, Versagen besonderer Meßfühler an extrem belasteten Stellen (hot spots) im Reaktor u. ä. Zum Unterschied vom *Rücklauf handelt es sich hier immer um quasi stationäre

Fehler, während dort auch monoton anwachsende Fehler mit erfaßt werden können. [9]

engl.: set-back

franz.: set-back, correction automatique d'excès de réactivité

Lit.: s. Sicherheitssystem.

Rückstoß, radioaktiver. Wegen des Impulssatzes erhält ein radioaktiver Kern, der ein α- oder β-Teilchen ausstößt, streng genommen sogar bei Aussendung eines γ-Quantes, einen R. Dieser ist weitaus am stärksten bei der α-Emission. Der r. R. ist schon früh erkannt worden und kann gelegentlich zur Abtrennung der strahlenden Kerne aus dem Gesamtpräparat ausgenützt werden, s. Szilard-Chalmers-Effekt. Bei der Ermittlung von Energiebilanzen aus Kernreaktionen in der Nebelkammer oder Kernspurplatte muß der r. R. berücksichtigt werden. Häufig kann man die (sehr kurze) Bahnspur des Rückstoßkernes direkt sehen. [1]

engl.: radioactive recoil

franz.: recul radioactif

Rückstreufehler, auch Unterlagefehler, Meßfehler bei radiometrischen Messungen, der sich daraus ergibt, daß die *Rückstreuung der radioaktiven Unterlage nicht genau bekannt ist.

Die Aktivitätsvergrößerung durch Rückstreuung kann bei Alphastrahlung bis zu 5 % (oft vernachlässigbar), bei Betastrahlung 50 % und mehr betragen. Folgende Zusammenstellung zeigt den Einfluß einer unendlich dicken Unterlage auf die Aktivitätsmessung an einem Betapräparat des ^{210}Bi.

Unterlage	Aktivität mit Unterlage / Aktivität ohne Unterlage
Filterpapier	1,10
Pappe	1,18
Kupfer	1,48
Nickel	1,50
Molybdän	1,60
Platin	1,78

[16]

engl.: backscattering error

franz.: erreur par diffusion (en retour) du support

Lit.: Broda u. Schönfeld, Radioaktivität f. d. Mikrochemie, in: F. Hecht, Handbuch der mikrochemischen Methoden, Bd. II, Wien, 1955. – Kowark u. Adams, J. Appl. Phys. 12, 296 (1941).

Rückstreuung. Die Streuung eines Teilchens mit einem Streuwinkel größer als 90° bezüglich der Strahlrichtung bezeichnet man als R., ebenso den Teil einer Strahlung, der an einem Körper reflektiert wird. [26]
engl.: backscattering
franz.: diffusion en retour

Rühren dient der innigen Vermischung von Reaktionskomponenten mit dem Ziel, *Stoff- und *Wärmeaustausch zu verbessern, um physikalische oder chemische Veränderungen herbeizuführen oder zu beschleunigen (vgl. z. B. Extraktion). Die Güte einer *Mischung wird durch die mehr oder weniger gut erreichte „Homogenität" der Mischung charakterisiert. Sie ist das Maximum der erzielbaren Gleichverteilung, die sich als Funktion der Zeit darstellen läßt. Man findet, daß mit zunehmender Gleichverteilung die aufzuwendende Zeit immer mehr ansteigt, die Homogenität daher nur mit unverhältnismäßig großem Zeitaufwand oder überhaupt nicht zu erreichen ist. Einen weiteren Einfluß hat – bei Festkörpern – die Teilchengröße (s. Körnung). Das Mischen durch R. wird vorzugsweise angewendet, wenn wenigstens eine Komponente der zu mischenden Stoffe flüssig ist. Die Rührwerke bestehen meist aus einem feststehenden Gefäß, in welchem sich die zu mischenden Stoffe befinden, und einem beweglichen Teil, dem Rührer, der außerordentlich vielfältige Formen haben kann (Ankerrührer, Propellerrührer, Blattrührer u. a. m.). Bei Drucken über Atmosphärendruck muß das R. im geschlossenen Gefäß (Rührwerksautoklav) vorgenommen werden. Die Konstruktion der dazu erforderlichen Stopfbüchsen kann erhebliche Schwierigkeiten verursachen. Mitunter greift man zu stopfbüchslosen Antrieben, z. B. mit magnetischer Übertragung. Die Antriebsleistung und Drehzahl wird i. a. durch Modellversuch zu ermitteln sein, weil die eingehenden Parameter schwer zu erfassen sind. Für Abschätzungen und für Vergleich eines technischen Rührwerkes mit einem laboratoriumsmäßigen Modellrührer kann die Formel $L = 7{,}17 \cdot 10^{-8}, c \cdot n^3 \cdot l^5 \cdot \gamma$ (kW) verwendet werden (l ist eine kennzeichnende Länge [geometrische Ähnlichkeit zwischen Modell und technischer Ausführung], n die Drehzahl in $\min^{-1}$,

γ das spezifische Gewicht, c ein Beiwert, der sich als Funktion von der Froudeschen und der Reynoldsschen Kennziffer, also $c = f\,(\mathrm{Fr}, \mathrm{Re})$ darstellen läßt). [2]

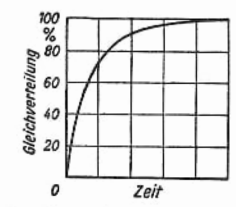


Abb. 1. Gleichverteilung als Funktion der Zeit.

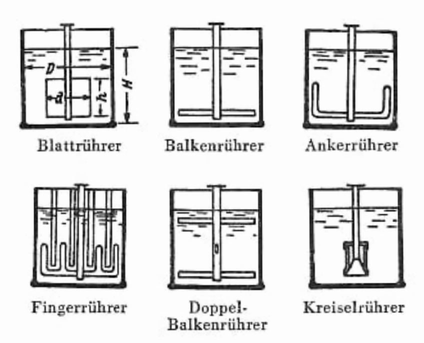


Abb. 2–7. Rührerformen.

engl.: stirring (mixing)
franz.: agiter

Lit.: Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, 3. Aufl., München-Berlin, 1951, Bd. 1: Chemischer Apparatebau und Verfahrenstechnik. – F. Kneule, Die Prüfung von Rührern durch Löslichkeitsbestimmung, Chemie-Ing.-Techn. 28, 221 (1956) (dort weitere Lit.-Hinweise).

Ruthenium 97, 103, 105 und 106, radioaktive Isotope, die teils durch Neutronenaktivierung, teils durch Uranspaltung entstehen. ^{105}Ru und ^{106}Ru sind Muttersubstanzen für die radioaktiven Isotope ^{105}Rh und ^{106}Rh. Strahlungsdaten s. u. Rhodium. [16]

engl.: ruthenium
franz.: ruthénium

Rutheniumtetroxyd (RuO_4) ist eine bei Normaltemperatur gasförmige Verbindung, sie entsteht durch Oxydation von Ruthenium mittels Ozon oder Kaliumpermanganationen.

$$3\,Ru^{4+} + 4\,MnO_4^- + 4\,H_2O$$
$$\rightarrow 3\,RuO_4\,(\text{gasf.}) + 4\,MnO_2 + 8\,H^+\,,$$
$$Ru^{4+} + 2\,O_3 + 2\,H_2O$$
$$\rightarrow RuO_4\,(\text{gasf.}) + 2\,O_2 + 4\,H^+\,.$$

Die Überführung von Ruthenium in das gasförmige RuO_4 stellt eine wirksame Methode zur Trennung von Uran und Ruthenium dar, Ruthenium läßt sich mit Hilfe der anderen Extraktionsmethoden nur sehr schwer von Uran trennen. [22]
engl.: ruthenium tetroxide
franz.: tétroxyde de ruthénium

Rutherford-Einheit. (Abkürzung rd), vorgeschlagene Einheit für die Radioaktivität eines Präparates, welche dann vorhanden sein soll, wenn pro Sekunde eine Million Atome sich radioaktiv umwandeln. Also: 1 rd = 27,0 μC. Der Vorschlag wurde auf internationaler Ebene abgelehnt. [1]
engl.: Rutherford unit
franz.: unité de Rutherford

Rutherfordsche Streuformel, s. Streuformel.
engl.: Rutherford's scattering formula
franz.: formule de Rutherford

Rutherfordsches Atommodell, s. Atommodell.

RWE-Versuchsatomkraftwerk Kahl, s. Nachtrag.

S

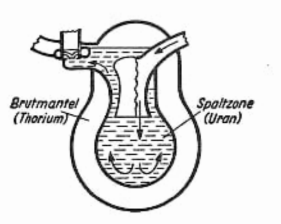
S 50, Codebezeichnung für frühere Isotopentrennanlage in Oak Ridge, Tennessee, USA. [7]

Saatelemente, Brennstoffelemente mit höherem Anreicherungsgrad, um einen möglichst geradlinig verlaufenden Fluß oder eine örtlich konstante Leistungs-

dichte zu erzielen, s. Flußabflachung. Ein Beispiel für die Verwendung von S.n ist der PWR. [7]
engl.: seed
franz.: semence

Salzagens oder **Salzzuschlag** nennt man in der Chemie der Kernbrennstoffaufbereitung alle diejenigen chemischen Zusätze zu Extraktions-Speiselösungen, die den Nernstschen Verteilungskoeffizienten des jeweils vorliegenden zweiphasigen Systems günstig beeinflussen. So wird durch Zusatz von Aluminiumnitrat zur uranylnitrathaltigen Speiselösung die Extraktion von Uranylnitrat durch Hexon günstig beeinflußt. [22]
engl.: salting agent
franz.: agent salin

Salzschmelzen-Reaktor, ein neuerdings von BNL vorgeschlagener homogener Reaktortypus mit zirkulierendem Brennstoff, der in geschmolzenen Salzen gelöst ist. Die Tabelle bringt einige Vergleichswerte zwischen Salzschmelzen und Wasser.
Die Abb. zeigt das Projekt eines S.-R.s, durch dessen



Spaltzone eine Schmelze, die $^{235}UF_4$ enthält, zirkuliert. Durch die Brutzone fließt eine Lösung von ThF_4 in LiF. Beide Ströme werden durch Wärmetauscher geleitet und geben dort 600 MW thermische Leistung ab.
Die Vorteile des S.-R.s liegen darin, daß er hohe Arbeitstemperaturen bei Normaldruck gestattet, daß Thoriumsalze (welche in Wasser nur als Suspension eingebracht werden können) in Schmelzen löslich sind und daß keine radiolytische Zersetzung auftritt. Die Absorptionsquerschnitte für Neutronen sind bei den Schmelzen klein und die Wärme-Übertragungseigen-

Salz	Schmelzpunkt (°C)	Dichte bei 700 °C (g/cm^3)	Viskosität bei 700 °C (centipoise)	Wärmeleitfähigkeit (cal/s cm °C)	Wärmekapazität (cal/g °C)	Prandtl-Zahl
53,5 % NaF, 40 % ZrF_4, 6,5 % UF_4	540	3,27	5,7	0,005	0,24	2,74
71 % LiF, 16 % BeF_2, 12 % ThF_4, 1 % UF_4	525	3,25	7,1		0,37	
67 % LiF, 30,5 % BeF_2, 2,5 % UF_4	464	2,10	5,5		0,57	
Wasser (20 °C)			1,00	0,00143	1	7

schaften stehen nicht hinter denen des Wassers zurück.

Die Nachteile des S.-R.s sind für alle Reaktoren

mit zirkulierendem Brennstoff charakteristisch: starke Korrosion der Behälter, hohes Brennstoff-Inventar, hoher Schmelzpunkt des Kühlmittels und Unregelmäßigkeiten im Massenumlauf. [13]
engl.: molten salt reactor
franz.: réacteur à sels fondus
Lit.: Nucleonics, August 1957, S. 64.

Salzschmelzflußextraktion ist die Extraktion von Stoffen aus Schmelzen mit Hilfe geschmolzener Salze, die selber mit der Primärschmelze nicht mischbar sind. In den meisten Fällen handelt es sich um die Extraktion geringer Salzspuren aus metallischen Schmelzen. In der *Brennstoffaufbereitung lassen sich die Halogensalze der Spaltprodukte und des Plutoniums mittels geschmolzener Halogensalze aus flüssigen Uranschmelzen entfernen (s. a. Spaltproduktausschlackung). [22]
engl.: molten salt extraction
franz.: extraction par fondant, par sels fondus
Lit.: s. Karbidausschlackung.

Samarium (Sm). Element der Seltenen Erden mit der Ordnungszahl 62, Atomgewicht 150,35, Einfangquerschnitt für thermische Neutronen $\sigma_a = 10\,000$ barn. Natürliches Sm enthält zu 15,07 % das radioaktive Isotop Sm-147 als einzigen natürlich vorkommenden α-Strahler unter den mittelschweren Atomkernen. Halbwertszeit $1{,}3 \cdot 10^{11}$ a.

$$^{147}_{62}\mathrm{Sm} \xrightarrow[1{,}3 \cdot 10^{11}\,\mathrm{a}]{\alpha} {}^{143}_{60}\mathrm{Nd}$$

Bei der Kernspaltung entstehen als Ende einer Zerfallskette die beiden stabilen Samariumisotope ^{149}Sm und ^{151}Sm. Beide besitzen einen großen Wirkungsquerschnitt für die Absorption thermischer und epithermischer Neutronen. Sie wirken daher im Reaktor als „Gift", weil sie den Neutronenhaushalt empfindlich belasten. Insbesondere beim Anfahren nach kurzzeitiger Abschaltung wirkt sich diese Vergiftung störend aus. S. Reaktorgifte und Isotopentabelle. [3, 7]
engl.: samarium
franz.: samarium

Samarium 153, radioaktives Isotop aus der Gruppe der Seltenen Erden. Die Halbwertszeit des Beta- und

Gammastrahlers beträgt 1,96 Tage. Durch *Neutronenaktivierungsanalyse kann man noch 10^{-12} g Samarium über ^{153}Sm *radiometrisch nachweisen. [16]

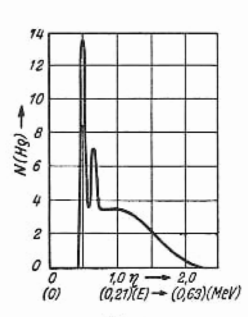


Abb. a.
β-Spektrum des Samarium 153,
$\eta = H\,\varrho/1704{,}2$ [Gauß · cm]

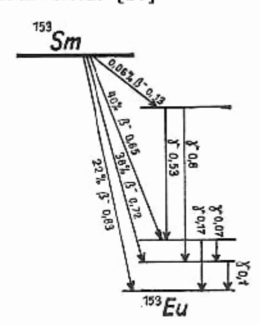


Abb. b.
Zerfallsschema des ^{153}Sm.
Energieangaben in MeV.

Lit.: Rev. Mod. Phys. 30, 730 (1958). – Houtermans, Geiß, Müller, Tabelle wichtiger β-Spektren. in Landoldt-Börnstein, Zahlenwerte und Funktionen, Bd. 1, Teil 5, S. 421, Springer, Berlin, 1952.

Samariumvergiftung, s. Samarium und Reaktorgifte.

engl.: samarium poisoning

franz.: empoisonnement par le samarium

Sammelschiene, s. Sigma-Schiene.

Sammler, s. Flotieren.

engl.: carrier

franz.: agent collecteur, agent de surface, porteur

Sandfilter (Sandfiltration) dienen zur Abscheidung radioaktiver Festteilchen aus „heißen" Abgasen. Die Abgase werden mit Druck durch meterdicke Filterschichten, bestehend aus Kies, Kieselgur und Glaswolle, gepreßt, radioaktive Festteilchen, die als Aerosole in der Luft gelöst sind, werden vom S. mit einer Filtereffektivität bis zu 99,99 % festgehalten. [22]

engl.: sand filter

franz.: filtre à sable

Sandwichmethode, s. Nachtrag.

Santowax-R, s. Nachtrag.

SAP, Sinter-Aluminium-Produkt, Bezeichnung für ein Sinterprodukt aus Reinaluminium mit einem Oxyd-

gehalt bis zu 14 %, das gegenüber dem normalen Metall eine deutlich erhöhte Warmfestigkeit besitzt, die mit der von ausgehärteten Al-Legierungen zu vergleichen ist. Auch die Korrosionsbeständigkeit gegenüber Wasser erhöhter Temperatur scheint günstiger zu sein, so daß SAP u. U. in bestimmten Fällen als Strukturmaterial an Stelle von normalem Aluminium Verwendung finden könnte. Über evtl. Strahlenschäden ist nichts bekannt. Die Herstellung von SAP-Formteilen erfolgt durch Kaltpressen – Heißpressen – Warmformgebung. Die erhöhte Warmfestigkeit beruht z. T. auf gehemmter Rekristallisation. [20]

Sarkom nennt man eine bösartige Geschwulst, die aus dem Bindegewebe hervorgeht. Bei einer Ablagerung von radioaktivem Material im Knochengewebe kommt es regelmäßig zur Entwicklung von Knochensarkomen geringer Heilungsaussichten. [28]
engl.: sarcoma
franz.: sarcome, tumeur

Sättigung. Die einseitige Annäherung an einen Grenzwert, der nicht überschritten werden kann, wird häufig mit dem Wort S. bezeichnet. Beispiele: Sättigung einer Lösung mit gelöster Substanz, magnetische Sättigung des Eisens, Sättigungsstrom, Sättigungsaktivität. [1]
engl.: saturation *franz.: saturation*

Sättigungsaktivität. Wird ein Element einer Strahlung konstanter Intensität ausgesetzt (z. B. aus dem Zyklotron oder im Reaktor), die eine Umwandlung mit radioaktivem Endprodukt in ihm bewirkt, so steigt die Aktivität so lange an, bis die Zerfallsrate des neu erzeugten radioaktiven Stoffs die Nacherzeugung gerade kompensiert. Diese asymptotisch erreichte Aktivität nennt man S. Sie ist der Intensität der angewandten aktivierenden Strahlung proportional. [1]
engl.: saturation activity
franz.: activité de saturation

Sättigungseffekt, strahlenbiologischer. Geht man bei der Untersuchung strahlenbiologischer Effekte von der Anwendung ionisierender Korpuskeln mit geringer spezfischer Ionisation zur Anwendung von Korpuskeln mit hoher spezifischer Ionisation über, so findet man bei

einigen Vorgängen eine Abnahme der relativen biologischen *Wirksamkeit. Ein bekanntes Beispiel ist die Erzeugung von Gen-Mutationen bei Drosophila. Die Erklärung des Effektes beruht auf der Annahme, daß bei dem Durchgang der ionisierenden Korpuskeln durch das strahlenempfindliche Volumen mehr Energie abgegeben wird, als zur Erzeugung des registrierten biologischen Effektes notwendig ist, also „Sättigung" vorliegt. Ein anderer Erklärungsversuch geht von der Annahme aus, daß indirekte Strahlenwirkung vorliegt und bei großer spezifischer Ionisation die Rekombination der aktiven Radikale im Plasma an Bedeutung gewinnt. S. a. Strahlenwirkung, direkte und indirekte in der Strahlenbiologie. [28]
engl.: radiobiological saturation effect
franz.: effet de saturation radiobiologique

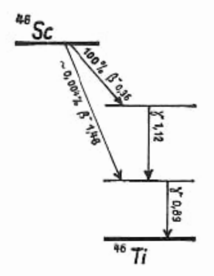
Sättigungsspannung heißt diejenige Spannung, die mindestens an einer Ionisationskammer liegen muß, damit praktisch alle gebildeten Ionen zum Stromtransport herangezogen werden, ehe sie rekombinieren können, damit also der Sättigungsstrom fließt. [1]
engl.: saturation voltage
franz.: tension de saturation

Sättigungsstrom in einer Ionisationskammer heißt derjenige Strom, der bei Beteiligung praktisch aller gebildeten Ionen am Stromtransport zustande kommt. Bei allmählicher Steigerung der Spannung nähert sich die Stromstärke immer mehr dem S. und verbleibt über einen weiten Spannungsbereich auf diesem Wert. Erst bei sehr viel höherer Spannung steigt die Stromstärke durch Stoßionisation weiter an. Der S. in einer Ionisationskammer mißt unmittelbar die Zahl der je Sekunde gebildeten Ionenpaare und liefert damit ein relatives Maß für Intensitäten ionisierender Strahlung gleicher Art und Energie. [1]
engl.: saturation current franz.: courant de saturation

Säule, thermische, ist eine ausgedehnte Anhäufung von Graphit, die von der Spaltzone des Reaktors durch den Reflektor und den Schild hindurchführt. Sie liefert an ihrem äußeren Ende eine große Zahl von thermischen Neutronen für experimentelle Zwecke. [7]
engl.: thermal column franz.: colonne thermique

Scandium 46

Scandium 46, radioaktives Isotop des Sc der Halbwertszeit von 84 Tagen, dessen Beta- und Gammastrahlung bei der radiochemischen Analyse der seltenen Erden ausgenutzt wird. Zerfallsschema s. Abb. [16]



Zerfallsschema des ^{46}Sc
(Zerfallsenergie in MeV)

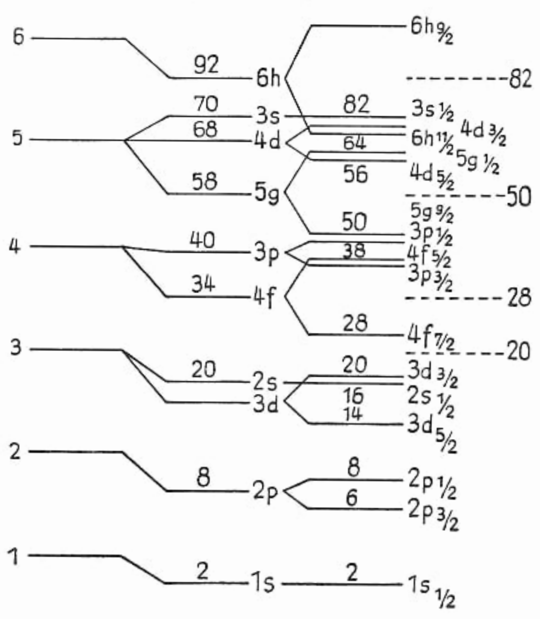
engl.: scandium 46
franz.: scandium 46
Lit.: Rev. Mod. Phys. 30, 622 (1958).

Scavenging. 1. Verwendung einer unspezifischen Fällungsreaktion zur Entfernung von unerwünschten trägerlosen radioaktiven Substanzen aus einer Lösung durch Absorption oder Mitfällung. Als S. verwendet man nach Möglichkeit Niederschläge mit großer Oberfläche, wie z. B. $Fe(OH)_3$.
2. Abfangen eines kurzlebigen Radikales in einem System, z. B. mit DPPH, um die Reaktion in eine andere Richtung zu lenken. [3, 18]
engl.: scavenging *franz.: scavenging*

Schadenkontrolle im Reaktor, s. Hülsenüberwachung und Brennstoffschäden.

Schalenmodell der **Atomkerne.** In Nachbildung des B o h r schen Modells der Atomhülle liegt der Gedanke nahe, für den Kern einen ähnlichen Aufbau durchzuführen. Es müßten dann auch im Kern abgeschlossene Schalen von Protonen und Neutronen, ausgedrückt durch den Gang der Bindungsenergie der Nukleonen, vorliegen. Aus der Erfahrung kann man ablesen, daß 28, 50 und 82 Protonen und 28, 50, 82 und 126 Neutronen so etwas wie abgeschlossene Schalen bilden dürften. Die Kerne, die diese Zahlen von Neutronen oder Protonen enthalten, weisen eine besonders hohe Bindungsenergie und einige andere phy-

sikalische Charakteristika auf. Man hat sie magische Kerne und die Zahlwerte der Protonen bzw. Neutronen magische Zahlen genannt, da sie gar nicht so leicht erklärbar schienen. Erst in der jüngsten Zeit hat sich durch Einführung einer starken Spin-Bahn-Kopplung unter den Nukleonen eine Darstellungsmöglichkeit dieser Zahlen ergeben. Nimmt man nämlich an, daß die Bindung der Nukleonen stark davon abhängt, ob ihr Spin parallel oder antiparallel zum Bahndrehimpuls orientiert ist, so spaltet der $2(2l+1)$fach entartete Term, der zu dem Bahndrehimpuls $l\hbar$ gehört, in einem $2(l+1)$fach entarteten Term mit dem Gesamtdrall $j = l + {}^1/_2$ und einen $2l$-fach entarteten Term mit $j = l - {}^1/_2$ auf. Die Ursachen dieser Aufspaltung sind in der Eigenart der Kernkräfte begründet. Es entsteht auf diese Weise ein Termschema für Nukleonen, das in der Abb. angegeben ist. Ein „Schalenabschluß" liegt dann vor, wenn der Schritt zum



nächsten Term besonders groß ist. So kommt man zu der Reihe der Schalenabschlüsse bei 2, 8, 20, 28, 50, 82 und 126 Protonen bzw. Neutronen. Bei den leichten Kernen ist das Modell empirisch nicht sehr gut begründet. – Die angegebenen Terme gehen auf ein zentralsymmetrisches Potential zurück. [7]

engl.: nuclear shell model

franz.: modèle du noyau à structure en couches

Lit.: Haxel, Jensen, Sueß, Modellmäßige Deutung der ausgezeichneten Nukleonenzahlen im Kernbau, Z. f. Phys. 128, S. 295–311, 1950. – H. Kopfermann, Kernmomente und Kernmodelle, Naturwiss. 38, 29–34, 1951. – M. Goeppert-Mayer u. J. H. D. Jensen, Elementary Theory of Nuclear Shell Structure, Wiley, New York, 1955.

Schaltpult, s. Steuerpult.

Schaltwarte, s. Kontrollraum.

Schattenschild. Ein Schild, der nicht die gesamte Quelle umschließt und abschirmt, sondern nur einen Teil des Raumes, heißt S. Im Schatten dieses Schildes ist dann der verlangte niedrige Strahlenpegel. Bei der Berechnung eines S. muß besonders auf die Luftstreuung achtgegeben werden. Ihr Beitrag, Einstreuung in den Schatten, kann nicht immer vernachlässigt werden. [26]

engl.: shadow shield *franz.: écran partiel*

Schauer. Analog dem alltäglichen Begriff eines Regenschauers spricht man in der Physik der Elementarteilchen von einem S., wenn diese in größerer Zahl gleichzeitig mehr oder weniger parallel in ein bestimmtes Raumgebiet einfallen. Die Schauerteilchen haben einen gemeinsamen Ursprung. Die Entstehung einer großen Zahl von Elementarteilchen setzt zunächst eine sehr große Energie für das auslösende Teilchen voraus. Sodann müssen diese die Eigenschaft einer starken Wechselwirkung mit Materie haben. Diese kommt in erster Linie Elektronen und Photonen zu, die sich auf Grund der Prozesse *Bremsstrahlung und *Paarbildung sehr stark vermehren. Die Mindestenergie, die zur Auslösung dieser Prozesse in großer Zahl notwendig ist, ist abhängig vom Material. Sie muß in Luft über 100 MeV liegen, in Blei dagegen nur über 7 MeV. Die ständige Unterteilung der Energie als Folge der obigen Elementarprozesse bewirkt eine starke Absorption der Elektronenschauer. Man nennt sie daher w e i c h e S.

Neben Elektronenschauern spricht man auch von Mesonenschauern, bei denen sich zwar die Schauerteilchen, die μ-Mesonen, durch Wechselwirkung mit Materie ihrerseits nicht vermehren. Sie werden aber von energiereichen Nukleonen auf dem Umweg über π-Mesonen in großer Zahl erzeugt, wenn diese auf Materie treffen. Die Nukleonenenergie muß größer als 1000 MeV sein.

Teilchen mit extrem hohen Energien kommen in der kosmischen Strahlung vor. Daher entstammt der Schauerbegriff mit seinen verschiedenen Attributen der Beobachtung dieses Phänomens in der Lufthülle unserer Erde. Räumlich besonders ausgedehnte energie- und teilchenreiche S. nennt man „große Luftschauer". Mesonen werden sehr wenig absorbiert. Daher nennt man die Mesonenschauer auch harte oder durchdringende S. Jeder Luftschauer enthält als sog. harten Kern μ-Mesonen und Protonen; die weitaus größte Zahl von Teilchen besteht aus Elektronen und Photonen. [7]

engl.: burst *franz.: averse*

Lit.: W. Heisenberg, Kosmische Strahlung, Vorträge, Springer, Berlin, 1953. – L. Janossy, Cosmic Rays, Oxford University Press, 1950.

Schäumer, s. Flotieren.

engl.: frother, frothing reagent

franz.: agent moussant, écumeur

Scheelit. Wolframhaltiges Mineral von der Zusammensetzung $CaWO_4$. S. ist eines der wichtigsten Wolframerze. [3]

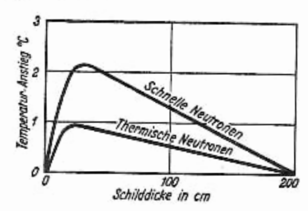
engl.: scheelite *franz.: scheelite*

Scheinversuche mit nicht-radioaktiven Substanzen, s. Prozeßanlagen.

Schichtkristallbildung, s. Kornseigerung.

Schild (in der Reaktortechnik). Ein S. besteht aus einem Material, das den Durchgang von Strahlen möglichst behindert; er kann speziell zum Schutz gegen γ-Strahlen oder gegen Neutronenstrahlung ausgebildet sein. Im ersten Fall wird er bevorzugt schwere Kerne in einem Material hoher Dichte, im zweiten Fall leichte Kerne enthalten. Der S. eines Kernreaktors muß Schutz gegen beide Strahlenarten bieten. Man unterscheidet gewöhnlich den thermi-

schen und den biologischen S. Der thermische S. ist dem Reaktor am nächsten. Er nimmt aus der Neutronen- und γ-Strahlung so viel Wärme auf, daß er gekühlt werden muß. Daher wird er aus gut wärmeleitendem Material großer Dichte hergestellt, meist einem Metall, das sowohl Neutronen wie γ-Quanten absorbiert. Seine Abmessungen sind dadurch charakterisiert, daß im Reaktorkanal thermische Spannungen



Temperaturanstieg im Schild (Baryt-Beton) in °C pro eintretender Energie von 1 mW cm^{-2} (rund $2{,}3 \cdot 10^{10}\, n_{th}\, cm^{-2}\, s^{-1}$).

verhindert werden, oder daß der anschließende biologische S. nicht mehr gekühlt werden muß. Dieser hat die Aufgabe, die den thermischen S. durchsetzende Strahlung so weit zu schwächen, daß sie unter die physiologisch erlaubte Grenze herabgedrückt wird. Er besteht gewöhnlich aus Schwerbeton, der gleichzeitig als Bauelement ausgenutzt werden kann. Mitunter ersetzt man Sand und Kies zur Erhöhung der Schirmwirkung teilweise durch dichteres und stärker wasserhaltiges Material (z. B. gewisse Sorten von Raseneisenstein und Schrott). [7]
engl.: shield
franz.: bouclier (de protection), blindage

Schild, biologischer. Der Teil der gesamten Abschirmung eines Reaktors, der die Dosis der Strahlung auf das zulässige Maß herabsetzt. S. Schild.
engl.: biological shield, bulk shield
franz.: bouclier (de protection) biologique
Lit.: B. T. Price, C. C. Horton, K. T. Spinney, Radiation Shielding, Pergamon Press, London, 1957.

Schild, optimaler. Die Investitionskosten für einen Schild sind tote Kosten. Ein schlechter Schild verteuert zudem den Betrieb. Deshalb wird man, so gut wie möglich, einen Schild optimal konstruieren. Die Frage,

ob ein Schild optimal ist, hängt von dem Problem ab. Hauptsächlich wird man danach trachten, die Kosten und das Gewicht (vor allem bei mobilen Reaktoren) minimal zu halten. Das Variationsproblem, bei vorgeschriebener Dosisleistung am Schildrand (u. z. T. im Innenraum) Gewicht und Kosten minimal zu machen, ist mindestens in Abschnitten lösbar. [26]
engl.: optimal shield
franz.: bouclier optimum, écran optimum

Schild, thermischer, Teil der Abschirmung eines Reaktors nächst dem Reflektor, bestehend aus einem Material hoher Dichte, großen Neutronen-Einfangquerschnittes und großer Wärmeleitfähigkeit, das bei großen Reaktoren gekühlt werden muß. Als Materialien kommen in Betracht: Stahl, borierter Stahl, Boral u. ä. [26]
engl.: thermal shield
franz.: bouclier (de protection) thermique

Schildberechnung. Zur Berechnung eines Schildes muß das Problem des Durchganges von Strahlung durch Materie gelöst werden: Gegeben eine Einheits-Quelle mit dem Volumen v und der Energieverteilung $f(E)$; gesucht der Fluß Φ und dessen Energieverteilung $g(E)$ in einem Aufpunkt $\mathfrak{r}$. Antwort auf dieses Problem gibt die Integration der Boltzmannschen Transportgleichung.
Die Integration ist nicht geschlossen durchführbar, da die verschiedenen Wirkungsquerschnitte keine integrierbare Energieabhängigkeit haben. Reihenentwicklungen sind deshalb notwendig. Goldstein et al. haben eine solche Reihenentwicklung der Transportgleichung durchgeführt und die Reihen dann mit einem Elektronenrechner ausgewertet. Mit diesen Ergebnissen ist eine zeitlich günstige Berechnung möglich. Andere Verfahren vereinfachen stark; damit kommt man natürlich zu Ergebnissen, die nur für bestimmte Fälle zutreffen. Für konservative Berechnungen, wo also weder die Kosten noch Gewicht oder sonstige konstruktive Faktoren eine Rolle spielen, kommt man mit solchen Formeln aus. Man wird jedoch gut tun, wenn man die Rechnung soweit wie möglich mit allen erreichbaren experimentellen Daten vergleicht. Solche halbempiri-

schen Methoden wurden für viele Probleme entworfen. [26]

engl.: shield calculation

franz.: calcul du blindage

Lit.: Reactor Handbook Vol. 1, Physics, MacGraw-Hill, New York, 1955. – H. Goldstein et al., USAEC, report NYO-3075 (1954). – B. T. Price, C. C. Horton u. K. T. Spinney, Radiation Shieldung, Pergamon Press, London, 1957. – H. Goldstein, The Attenuation of Gamma Rays and Neutrons in Reactor Shields, USAEC, Washington, 1957.

Schirmbild-Verfahren. Das Sch. nach Holfelder photographiert mit einer Kleinbildkamera das Bild eines Spezialdurchleuchtungsschirmes. Das Verfahren ermöglicht die Untersuchung von mehreren tausend Menschen pro Arbeitstag, da die Bildzahl lediglich von der Schnelligkeit des Patientwechsels bestimmt wird. – Die Aufnahmen werden mit sehr hoher Spannung (80 kV und darüber) zur Erzielung eines möglichst hellen Bildes und mit einer Feinrasterblende gemacht. Die Stromstärke richtet sich nach der Belastungsmöglichkeit der Röhre, die Belichtungszeiten betragen etwa 0,25–0,5 s. – Die Bildformate sind unterschiedlich: 24×24 mm auf perforiertem Film (Kleinbildformat), 31×31 mm (Technikformat) und 63×63 mm (Mittelformat). Die Bildgüte entspricht natürlich nicht der einer normalen Röntgen-Aufnahme. Der Vorteil liegt aber in der Möglichkeit einer Reihenuntersuchung in kürzester Zeit, wobei verdächtige Patienten anschließend einer konventionellen Röntgen-Diagnostik unterzogen werden können. [28]

engl.: mass miniature radiography

franz.: radiographie en masse

Lit.: R. Janker, Lichtschirmphotographie, Röntgenschirmuntersuchung, Joh. Ambrosius Barth, Leipzig, 1938. – R. Griesbach, Röntgen-Reihenuntersuchungen des Brustkorbes unter bes. Berücksichtigung der Lungentuberkulose, Joh. Ambrosius Barth, Leipzig, 1949.

Schlagbiegezähigkeit. Ein Werkstoffkennwert (in mkg/cm^2), der den Widerstand eines Werkstoffes gegen schlagartige Beanspruchung angibt. Die Bestimmung der S. (oder -festigkeit) erfolgt an ungekerbten Proben im Schlagbiegeversuch nach *Charpy. [4]

engl.: impact bending strength

franz.: résistance de flexion au choc

Lit.: DIN 50 116.

Schmidt-Zahl (Sc). Der Stoffübergang in bewegten Medien bildet eine Analogie zum Wärmeübergang, dabei tritt an Stelle der Prandtl-Zahl die S.-Z.

$$\mathrm{Sc} = \frac{\nu}{k}$$

wobei ν die kinematische Zähigkeit und k die Diffusionszahl ist. [5]
engl.: Schmidt-No.
franz.: nombre de Schmidt

Schnellablaß, spezielle Art des Schnellschlusses durch plötzliches Ablassen eines flüssigen Moderators oder anderer flüssiger oder gasförmiger Bestandteile der Spaltzone. Vom normalen Schnellschluß mit mechanischen Abschaltorganen (Absorberstäbe, Brennstoff- oder Reflektorbewegungen) unterscheidet sich der S. vor allem durch die geringere Steuergeschwindigkeit. Vorteilhaft ist dagegen die außerordentlich große Sicherheit bei Verwendung von mehreren parallel geschalteten Ablaßleitungen und -ventilen. Der S. ist deshalb vorwiegend als Zusatzmaßnahme zum mechanischen Schnellschluß für den Fall eines völligen oder teilweisen Versagens der mechanischen Abschaltorgane geeignet. Es ist jedoch für Kühlung der Brennstoffelemente nach dem S. zu sorgen (Nachwärme!). [9]
engl.: dump
franz.: déclenchement par vidange

Schnellabschaltorgane, spezielle Abschaltorgane (Abschaltstäbe, -platten, -arme) für den Schnellschluß. Die einfachen S. werden meistens durch kombinierte *Trimmabschaltorgane ersetzt, da andernfalls nur geringe Vereinfachungen des reinen Rückholmechanismus gegenüber einem Trimmantrieb möglich werden und zugleich eine geringere Anfangswirkung (größere *Abschaltzeit) besteht, wenn nicht zusätzliche Reaktivitätsverluste durch ständig etwas in die Spaltzone hineinragende Abschaltabsorber in Kauf genommen werden sollen. [9]
engl.: scram mechanism
franz.: organe de déclenchement rapide

Schnellabschaltung, syn. zu Schnellschluß.

Schnellarbeitsstahl, s. Stahl.
engl.: high speed steel
franz.: acier (à coupe) rapide

Schnellschluß umfaßt alle Verfahren zur möglichst schnellen und vollständigen, zugleich aber wiederholbaren Abschaltung eines Reaktors. Die Hauptausführungsformen sind a) mechanische *Schnellabschaltungen mit Absorberelementen *(trip, scram)*, b) *Schnellablaß eines flüssigen Moderators *(dump)*. Beide können automatisch bei Überschreiten eines vorgegebenen Leistungspegels (Neutronenflusses), einer gewissen Reaktorperiode oder bei Auftreten irgendwelcher Strahlungen, die den Sicherungsbestimmungen zuwiderlaufen, ausgelöst werden.

Vom Standpunkt der Funktionssicherheit und der Einfachheit des Aufbaues ist b) wesentlich besser als a), dem es jedoch hinsichtlich der Geschwindigkeit so sehr unterlegen ist, daß es immer nur als zusätzliche Maßnahme zu a) eingesetzt wird. Weitere Einzelheiten s. u. Abschalten, Sicherheitssystem. [9]
engl.: scram, trip
franz.: arrêt d'urgence, arrêt rapide,
déclenchement rapide

Schnellspaltfaktor, Vermehrungsfaktor im Rahmen der Neutronenbilanz eines thermischen Reaktors (bzw. eines multiplizierenden Medium), der auf Spaltungen zurückgeht, die von schnellen Neutronen ($E \gtrsim 1$ MeV) ausgelöst wurden. Er wird durchweg mit ε bezeichnet und ist ungefähr 1,03 bei einem Natururanreaktor. Er ist größer bei angereichertem Material. S. a. Neutronenvermehrung. [7]
engl.: fast fission factor
franz.: facteur de multiplication rapide

Schnittbild-Verfahren, s. Körperschichtaufnahmen.

Schnüffelanlage. Die *Brennstoffhülse soll den Austritt der Spaltprodukte aus dem Brennstoff und die damit verbundene radioaktive Verseuchung des gesamten Kreislaufsystems verhindern. Es muß jedoch damit gerechnet werden, daß ab und zu bei einem der meist sehr zahlreichen Brennstoffelemente die Um-

hüllung undicht wird. Das entsprechende Element muß dann ausgewechselt werden. Um dies rechtzeitig zu ermöglichen, wird bei den meisten Reaktoren die Radioaktivität des Kühlmittels am Austritt jedes einzelnen Brennstoffkanals laufend überwacht. Da die Zahl der erforderlichen Meßstellen sehr groß sein kann (bis etwa 3000) und die Messung bei einem sehr starken Strahlungshintergrund zu erfolgen hat, sind Umfang und Kosten einer S. sehr beträchtlich. [8]
engl.: sampling system
franz.: dispositif de détection des éléments combustibles endommagés

Lit.: „Dedection of faulty fuel elements", Symposium on Calder Works Nuclear Power Plant, Nov. 1956, Journal of British Nuclear Energy Conference.

Schraubenversetzung, s. Versetzung.
engl.: screw dislocation *franz.: dislocation-vis*

Schubmodul. Werkstoffkonstante, welche die Proportionalität zwischen Schubspannung τ und Schiebung γ nach der Gleichung $\tau = G \cdot \gamma$ vermittelt. Für Metalle liegt der S. in der Größenordnung von 10^4 kg/mm^2. [4]
engl.: shearing modulus
franz.: module de cisaillement

Schutzeffekt. Die verschiedenen chemischen Verbindungen besitzen eine unterschiedliche Strahlungsstabilität. So kann man bei der Bestrahlung von kurzkettigen Paraffinen einen *G-Wert für die Abspaltung von H_2 von etwa 5 messen, während G_{H_2} von Benzol unter den gleichen Bedingungen bei 0,002 liegt. Gibt man zu einem Paraffinkohlenwasserstoff geringe Mengen von Benzol zu, so sinkt der G-Wert ganz beträchtlich ab, und zwar wesentlich stärker, als der Prozentgehalt des zugesetzten Benzols vermuten läßt. Die Energie, die dem System durch die ionisierende Strahlung zugeführt wird, wird auf das Benzol übertragen, das auf Grund seines molekularen Aufbaus diese Energie in anderer Form als durch den Bruch einer chemischen Bindung wieder abgeben kann. Durch Zusatz von strahlungsstabileren Substanzen zu organischen Verbindungen, die als Moderatoren und Kühlmittel dienen können, hat man bereits eine praktische Anwendung gefunden. Als Beispiel sei hier das System m-Terphenyl/p-Quater-

phenyl genannt. Der Gehalt von 5 % der letzteren Verbindung im m-Terphenyl läßt den G_{H_2}-Wert von 0,008 auf 0,004 sinken. [18]
engl.: protective effect *franz.: effet de protection*

Schutzelektrode, zusätzliche Elektroden in *Zählrohren oder *Ionisationskammern, die auf demselben Potential gehalten werden wie die Meßelektrode. Sie dienen zur Herabminderung von Isolationsströmen und zur genauen Definition des Meßvolumens. [17]
engl.: guard electrode *franz.: électrode de garde*

Schutzzone, dasjenige Gebiet in der Umgebung eines Forschungs- oder Leistungsreaktors, in dem sich aus Sicherheitsgründen keine ständigen Wohnstätten befinden dürfen. Die Größe der S. ergibt sich aus einer Abschätzung der Strahlengefährdung der Umgebung durch direkte Strahlung und radioaktive Verseuchung, die bei einem möglichen Reaktorunfall auftreten könnte. Eine häufig benutzte Faustformel amerikanischen Ursprungs lautet $R = 0{,}016 \sqrt{W}$, wobei R den Radius der Schutzzone in km und W die Leistung des Reaktors in kW bedeuten. Die Abmessungen der S. können wesentlich verringert werden, wenn die Reaktoranlage in einem gasdichten und druckfesten Gehäuse untergebracht wird, das ein Austreten radioaktiver Stoffe bei einem Reaktorunfall mit Sicherheit verhindert. In England werden in diesem Fall für Kraftwerksreaktoren 800 m gefordert. Da das tatsächliche Risiko beim Betrieb von Leistungsreaktoren mangels praktischer Erfahrungen noch weitgehend unbekannt ist, gibt es z. Z. noch keine allgemeingültigen Regeln für die Bemessung. S. a. Leistungsreaktoranlage, Forderungen an den Standort, Sicherheitsbericht. [11]
engl.: protection area *franz.: zône de protection*

Schwächungskoeffizient. Als S. bezeichnet man normalerweise den Koeffizienten α bei reiner Exponentialschwächung von Strahlung: $I = I_0 \, e^{-\alpha x}$. Dieser Koeffizient α setzt sich je nach Strahlenart und Element aus verschiedenen Anteilen zusammen und ist eine Stoffkonstante.

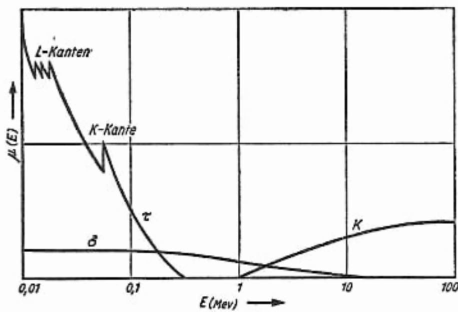
1. Röntgen- und γ-Strahlen
Hier wird der S. mit μ bezeichnet. Im Falle mono-

energetischer (monochromatischer) Strahlung und eines engen Strahlenbündels (s. Geometrie) ist der S.

Schwächungskoeffizient

$$\mu(E) = \tau(E) + \sigma(E) + \varkappa(E) \ ,$$

$\tau(E)$ repräsentiert die Photoelektronenbildung und die Röntgen-Strahlenbildung, $\sigma(E)$ den Compton-Effekt und $\varkappa(E)$ die Paarbildung. Je nach Energie überwiegt einer der Prozesse; in der Abb. ist $\mu(E)$



Schematischer Verlauf des Schwächungskoeffizienten bei Röntgenstrahlen. Der quantitative Verlauf hängt vom Element ab.

dargestellt. $\tau(E)$ kommt nur für kleines E und $\varkappa(E)$ nur für großes E in Betracht. Bei γ-Strahlen z. B. überwiegt im Gebiet der mittleren Energien der Compton-Effekt (s. Wechselwirkung). Bei nichtmonoenergetischer Strahlung kann man einen effektiven S. angeben, der durch Mittelbildung in der Form

$$\bar{\mu} = \frac{\int_0^\infty \mu(E)\ \mathrm{d}E}{\int_0^\infty \mathrm{d}E}$$

erhalten wird. Übersteigt der Durchmesser des Strahlenkegels eine bestimmte Größe, so ist zur Berechnung der Schwächung das Rechenverfahren mit dem *Zuwachsfaktor zu benützen. Die Angabe eines S. ist hier zum mindesten bei größeren Schichtdicken nicht mehr sinnvoll.

2. Neutronenstrahlen

Bei den Neutronen ist das Problem der Durchdringung

von Materie prinzipiell dem der Röntgenstrahlen analog. Der S., hier mit Σ bezeichnet, ist ebenfalls eine Funktion der Energie. Die einzelnen Prozesse, Streuung, Absorption und Spaltung, die ein Neutron ausführen kann, variieren stark mit der Energie. Die Angabe eines S. ist auch hier im Prinzip nur für monoenergetische Neutronen sinnvoll. Bei polyenergetischer Strahlung muß man mit der Transporttheorie bzw. der Diffusionstheorie rechnen. [26]
engl.: attenuation coefficient
franz.: coefficient d'affaiblissement, c. d'atténuation

Schwefel 35 ist ein weicher Betastrahler mit einer Maximalenergie von 0,167 MeV und einer Halbwertszeit von 87,1 Tagen. Das Isotop entsteht aus ^{34}S bei Bestrahlung mit langsamen Neutronen (n, γ-Prozeß) oder aus ^{35}Cl (n, p-Prozeß). Infolge Nebenreaktionen entstehen störende Verunreinigungen. Durch Lagerung des frisch erzeugten ^{35}S klingen jedoch diese Störaktivitäten ab. Die Störaktivitäten beruhen bei den

n, γ-Reaktionen auf:	^{32}P	Halbwertszeit	14 Tage
	^{37}S	Halbwertszeit	5 Min.
n, p-Reaktionen auf:	^{32}P	Halbwertszeit	14 Tage
	^{38}Cl	Halbwertszeit	37 Min.
	^{42}K	Halbwertszeit	12,5 Min.
	^{24}Na	Halbwertszeit	15 Std.

^{35}S wird in der Radiochemie und als Leitisotop benützt. Zur Herstellung von *trägerfreien Präparaten bedient man sich der Tatsache, daß der Schwefel bestrahlter Metallchloridproben bei Auflösung in Wasser zu Schwefelsäure oxydiert und z. B. als Bariumsulfat gefällt werden kann. Als weicher β-Strahler wird das Isotop gelegentlich zur Bestimmung extrem dünner Schichten unter 2 mg/cm² Flächengewicht nach verschiedenen Durchstrahl- und Reflexionsverfahren benützt. Bei der Messung chemischer, ^{35}S-aktiver Niederschläge ist meist die Selbstabsorption der Präparate zu beachten. [16]
engl.: sulfur 35 *franz.: soufre 35*

Schweißen, Verbinden von Metallteilen durch Druck oder Erhitzung. Beim S c h m e l z s c h w e i ß e n wird die Verbindung (im Gegensatz zum Lötvorgang) durch

lokales Aufschmelzen der Metallteile selbst hergestellt, beim Druckschweißen durch Druck oder durch Druck bei gleichzeitiger Erhitzung.
Beim Lichtbogenschweißen wird die Wärme zum lokalen Schmelzen durch einen Lichtbogen zwischen dem Werkstück und einer Kohle- oder Metallelektrode, zwischen zwei Elektroden oder zwischen den zwei zu verschweißenden Teilen erzeugt. Eine Mantelelektrode ist eine Metallelektrode, die mit einem Flußmittel umkleidet ist. Leichtoxydierbare Metallteile werden durch Schutzgasschweißung miteinander verbunden, wobei Werkstück und Wolframelektrode durch eine Argon- oder Heliumatmosphäre geschützt werden. Diese Methode wird auch überall dort angewendet, wo die Verwendung üblicher Flußmittel nicht möglich ist.
Beim Gasschweißen wird die lokale Erhitzung durch ein Gasgebläse (etwa Azetylen-Sauerstoff) durchgeführt.
Widerstandsschweißen ist eine Methode, wo die Schweißstelle durch Stromdurchgang erhitzt und die Verschweißung unter Druck durchgeführt wird. [4]
engl.: welding
franz.: souder

Schwellen, Volumenvermehrung von Uranmetall im Reaktor infolge der Gitteraufweitung durch Spaltprodukte. S. Uran. [20]
engl.: swelling
franz.: gonflement

Schwellendetektor, Neutronenindikator, zu dessen Aktivierung eine Mindestenergie der Neutronen erforderlich ist. Er besteht im Prinzip aus einem Nachweisgerät für geladene Teilchen in Verbindung mit einer Schicht, in der Neutronen oberhalb einer bestimmten Energie geeignete Kernprozesse auslösen bzw. Aktivierungen erzeugen, die registriert werden. Schichtmaterialien sind z. B. U-238, Th-232, S-32, Fe-56, F-19, C-12. [6]
engl.: threshold detector
franz.: detecteur à seuil

Schwellenenergie, s. Nachtrag.

Schwerbeton, Schwerstbeton. Beim S. wird als Zuschlagstoff nicht wie beim normalen Beton Sand und Kies verwendet, sondern irgendein Mineral oder Metallabfälle. Hierfür kommen besonders in Frage: Limonit, Colemanit, Hämatit, Ilmenit, Baryt, Borcalzit, Galenit als Erze und Eisen und Blei als Metallstücke. Diese schweren Zuschlagstoffe erhöhen die Dichte des Betons von etwa 2,4 g/cm^3 bis auf maximal 5,5 g/cm^3. Damit erreicht man eine bessere γ-Absorption ohne die n-Absorption, die hauptsächlich vom Wasser im Beton geleistet wird, zu schwächen. Durch Zugabe von Bor (z. B. in Form von Colemanit) kann man den Einfangquerschnitt erhöhen, ohne eine zu energiereiche γ-Einfangstrahlung zu erhalten.

Die Absorptionsquerschnitte dieser S.e liegen für 5 MeV γ-Strahlung zwischen 0,07 und 0,14 cm^{-1} und für schnelle Neutronenstrahlen zwischen 0,08 und 0,13 cm^{-1}.

Man bezeichnet den normalen Beton häufig als Schwerbeton zur Unterscheidung von leichteren Betonarten. Es empfiehlt sich daher, zur Vermeidung von Verwechslungen den oben beschriebenen Reaktorbeton als Schwerstbeton zu bezeichnen. [20, 26]

engl.: heavy concrete

franz.: béton lourd

Schwerpunktsystem, s. Nachtrag.

Schwerwasserreaktor, Reaktor mit schwerem Wasser als Moderator und evtl. auch als Kühlmittel. Brennstoff in der Regel Natururan. Beispiele sind die Forschungsreaktoren *NRX, *FR II Karlsruhe, *CP 5. Im übrigen s. Reaktortabelle im Anhang. [7]

engl.: heavy water reactor

franz.: réacteur à eau lourde, pile à eau lourde

Schwimmaufbereitung, syn. f. *Flotieren.

Schwimmbad-Reaktor, Schwimmbecken-Reaktor, s. Wasserbeckenreaktor.

Schwindungslunker, s. Lunker.

Scylla, s. Nachtrag.

Segrès-Beziehung charakterisiert die Anzahl der Spaltprodukte, die durch 1 cm^2 Oberfläche eines metallischen Brennstoffstabes treten. Nach Experimenten und theoretischen Überlegungen ist diese Zahl gerade

so groß wie die Zahl der Spaltprodukte, die aus 4,7 mg feinverteiltem Uran entkommen. [21]
engl.: Segrès relation
franz.: relation de Segrès

Seigerung, Konzentrationsunterschiede innerhalb eines Kornes oder innerhalb eines vielkristallinen Werkstückes aus einer Legierung. *Kornseigerungen sind Konzentrationsunterschiede innerhalb einzelner Mischkristalle. Blockseigerungen sind Konzentrationsunterschiede von makroskopischen Dimensionen in einem Legierungsblock. Eine besondere Form der Blockseigerung ist die Schwereseigerung, wo infolge des Dichteunterschiedes zwischen den primär ausgeschiedenen Kristallen und der Restschmelze die Primärkristalle nach unten sinken oder nach oben steigen. [4]
engl.: segregation
franz.: ségrégation
Lit.: G. Masing, Lehrbuch d. allg. Metallkunde, Springer, Berlin, 1950.

Sekundärelektronen, Elektronen, welche durch irgendeine (primäre) Strahlung, meist Elektronen-, Röntgenquanten oder γ-Quanten, infolge Wechselwirkung dieser Teilchen mit der Elektronenhülle der Atome in einem Stoff ausgelöst werden. Die Anzahl der ausgelösten S. hängt vom Material und von der Energie der auftreffenden primären Teilchen ab. Unter geeigneten Bedingungen kann die Zahl der S. ein hohes Vielfaches derjenigen der Primärteilchen erreichen. Hierauf beruht die Wirkungsweise des Sekundärelektronenvervielfachers ebenso wie die (chemische) Strahlenschädigung, die γ-Strahlen herbeiführen. [1, 18]
engl.: secondary electrons
franz.: électrons secondaires

Sekundär-(elektronen-)vervielfacher, s. Photovervielfacher.

Sekundärkreislauf, s. Kühlmittelkreisläufe.
engl.: secondary circuit
franz.: circuit secondaire

Selbstabschirmung einer Substanz gegen Neutronenstrahlung liegt vor, wenn deren äußere Schicht die

von außen einfallenden Neutronen so quantitativ absorbiert, daß die inneren Schichten nicht mehr getroffen werden. [7]
engl.: self-shielding
franz.: auto-blindage, auto-protection

Selbstabsorption ist die Absorption einer Strahlung im strahlenemittierenden Medium selbst. Beispiele: Die Sonnenoberfläche absorbiert einen guten Teil der in tieferen Schichten erzeugten Strahlung. Dasselbe gilt für die energiereichste Strahlung, die von einer Atombombe im Moment der Explosion emittiert wird. (Dadurch resultiert ein Zeitverlust für die Ausbreitung des größten Teil der γ-Strahlung von ungefähr $^1/_2$ Sekunde, was Schutz vor Verbrennung ermöglicht.) Neutronenquellen und insbes. *Beta- und Gammastrahlquellen absorbieren einen Teil der von ihnen emittierten Partikel. Die S. ist ein nicht zu vernachlässigender Faktor bei der Messung von Aktivitäten, weil die Probe – in Sonderheit, wenn sie dick ist – einen Teil der von ihr emittierten Strahlung absorbiert, der somit nicht ins Meßinstrument gelangt. Die Selbstabsorption nimmt mit der Dicke des Präparates zu und mit zunehmender Härte der Strahlung ab. *Unendlich dünne Präparate zeigen praktisch keine S. An *unendlich dicken Präparaten wird der Strahlungsanteil aus dem Präparatinnern quantitativ absorbiert. Die austretende Strahlung ist dann der spezifischen Oberflächenaktivität proportional. [7, 16]
engl.: self absorption *franz.: auto-absorption*

Selbstabsorptions-Halbwertsdicke ist die Dicke eines radioaktiven, ebenen Präparates, bei dem nur die Hälfte der von den Atomkernen des Präparats emittierten Strahlung austritt. Die S. liegt bei Betapräparaten etwa beim 2,3fachen Wert der *Halbwertsdicke für äußere Absorption. Die S. darf als Rechengröße nur für nicht zu dicke Präparate verwendet werden. [16]
engl.: internal absorption half thickness
franz.: épaisseur de demi-absorption interne, propre
Lit.: Cook u. Duncan, Modern Radiochemical Practice, Oxford, 1952.

Selbstabsorptionskoeffizient. Die Selbstabsorption

von radioaktiven Präparaten läßt sich, abgesehen vom Raumwinkel, näherungsweise mit einer e-Funktion beschreiben:

$$\text{austretende Strahlung } A = A_0 \cdot e^{-\mu' \cdot d},$$

wobei der S. μ' gleich ist

$$\frac{\ln 2}{\text{Selbstabsorptionshalbwertsdicke}}.$$

[16]

engl.: self-absorption coefficient
franz.: coefficient d'absorption interne, propre

selbstadjungiert, svw. *hermitesch, s. a. adjungiert. [7]

engl.: self-adjoint
franz.: être son propre conjugué

Selbststabilisierung oder **Selbstregulierung** ist eine Eigenschaft eines Reaktors dann, wenn dieser irgendwelche Abweichungen von einem einmal eingestellten Leistungspegel durch Änderung in seiner Reaktivität ausgleicht, ohne daß das Regelsystem in Tätigkeit tritt. Ein Reaktor mit negativem Temperaturkoeffizienten ist ein Beispiel für einen sich selbst regulierenden Reaktor. [7]

engl.: self-stabilisation
franz.: pilotage automatique

Selen 75 $^{75}_{34}$Se, radioaktives *Leitisotop, das nach Elektroneneinfang (Übergang in $^{75}_{33}$As) viele Gammalinien unterhalb 0,4 MeV emittiert. Es entsteht bei Bestrahlung des natürlichen Selens mit langsamen Neutronen im Kernreaktor. Die Halbwertszeit beträgt 127 Tage. Das bei der Erzeugung ebenfalls entstehende radioaktive Isotop ^{81}Se besitzt nur eine Halbwertszeit von 57 Minuten. [16]

engl.: selenium 75 *franz.: sélénium 75*

Lit.: Rev. Mod. Phys. 30, 646 (1958).

Selsyn, in Amerika gebräuchliches Synonym für synchron. [6]

Seltene Erden, die auf Lanthan folgenden 14 *Lanthaniden. Mitunter wird der Begriff weiter gefaßt und die dritte Nebengruppe des Periodischen Systems mit den Elementen Scandium, Yttrium, *Lanthan, Aktinium darunter verstanden. [3]

engl.: rare earth elements *franz.: terres rares*

Serber-Wilson-Methode, ein Verfahren zur Verbesserung von Reaktorberechnungen, welche die *Diffusionstheorie benützen. Die Verwendung der S.-W.-M. ist insbesondere bei kleinen Systemen angezeigt. Die Lösungen der *Diffusionsgleichung stimmen asymptotisch, d. h. einige *Diffusionslängen von Grenzen, Rändern und Quellen entfernt, mit der strengen Lösung der *Boltzmann-Gleichung überein (falls die Absorption nicht zu stark ist). Im Innern der Spaltzone und im Innern des Reflektors ist also die Lösung der Diffusionsgleichung einigermaßen zuverlässig. Abweichungen von der strengen Lösung treten an der Grenze Spaltzone—Reflektor und am äußeren Rand des Reaktors auf. Insbesondere weicht der Übergang des Flusses an der inneren Reflektorgrenze vom tatsächlichen Verlauf ab.
Die S.-W.-M. versucht den durch die Grenzbedingungen (stetiger Fluß und stetiger Strom) verursachten Fehler abzuschwächen, indem die Forderung, daß der Fluß an der Grenze stetig zu sein habe, durch eine Integralbeziehung ersetzt wird. [13]
engl.: Serber-Wilson-method
franz.: méthode de Serber et Wilson
Lit.: B. Davison, Neutron Transport Theory, Clarendon Press, Oxford, 1957.

Serie, svw. *Spektralserie.

Serienformel, s. Spektralserie.
engl.: series formula *franz.: formule (d'une série)*

Seriengrenze, s. Spektralserie.
engl.: series cut-off, series edge, series limit
franz.: limite de série

Sicherheitsbehälter. Bei Reaktoren, welche bei einem Unfall oder Defekt möglicherweise die Umgebung radioaktiv verseuchen könnten, werden alle radioaktiven Anlageteile in einem oder mehreren druckfesten S.n untergebracht, welche nur durch Schleusen zugängig sind. Die S. sind so ausgelegt, daß sie einer Explosion oder Überhitzung der darin befindlichen Anlagen standhalten. Daraus ergeben sich für diese kugel- oder zylinderförmigen Behälter (meist aus Stahl) beträchtliche Abmessungen und Wandstärken. S. sind vor allem bei Reaktoren hoher Leistungsdichte (Neu-

tronenfluß) und großem Kühlmitteldruck erforderlich. Ferner spielen die Radioaktivität des Kühlmittels und der Standort eine Rolle. [8]
engl.: containment vessel, safety container
franz.: récipient de sécurité

Sicherheitsbericht, zusammenfassender Bericht, in dem die Konstruktion des Reaktors sowie der ganzen Anlage auf ihre Sicherheit und die Einhaltung allgemeiner *Sicherheitsforderungen hin untersucht und alle irgendwie denkbaren Gefahrensituationen während des Reaktorbetriebes und deren evtl. Konsequenzen ausführlich diskutiert werden. Ferner sind alle dagegen unternommenen konstruktiven und organisatorischen Maßnahmen und ihre Wirkung genau darzustellen. In den meisten Ländern stellt die Abgabe eines ausführlichen S. eine entscheidende Voraussetzung für die Erteilung der Betriebserlaubnis für den Reaktor dar. Er enthält folgende Kapitel:

1. Sicherheitsmäßige Beurteilung des Standortes. (Bodenbeschaffenheit, meteorologische Verhältnisse, Reinheitsforderungen an Kühlwasser, Bevölkerungsdichte.)
2. Sicherheitsüberwachung während des Baues der Anlage. (Produktions- und Montage-Überwachung, Inbetriebnahme.)
3. Beurteilung der Sicherheit innerhalb der Reaktoranlage (innere Sicherheit).
   3.1 Sicherheit des Betriebspersonals bei Normalbetrieb.
   3.2 Diskussion möglicher Störungen, Einfluß von Experimenten, deren Folgen und Gegenmaßnahmen (es sind Störungen am Reaktor, der Turbinenanlage, der Hilfsanlagen und vom elektrischen Netz ausgehende Störungen zu berücksichtigen).
   3.3 Sicherheitsmäßige Beurteilung möglicher Reparaturen.
   3.4 Sicherheit des Betriebspersonals bei Störungen.
4. Beurteilung der Sicherheit der Umgebung der Reaktoranlage (äußere Sicherheit).

4.1 Bei Normalbetrieb (Menge und Art des Reaktivitätsausstoßes).

4.2 Bei Störungen der Reaktoranlage und mögliche Gegenmaßnahmen (entsprechend den unter 4.2 diskutierten Störungen).

Die wichtigsten Gefahrenmöglichkeiten sind a) mechanische Zerstörungen durch Überhitzungen bei unzulässig hohen Leistungen, b) gesundheitliche und volkswirtschaftliche Schädigungen durch radioaktive *Verseuchungen, c) entsprechende Schädigungen durch rein chemische Vergiftungen, d) übliche Unfallgefahren großindustrieller Anlagen. In der Praxis ist a) wegen der hohen Aktivität der Spaltprodukte oft mit b) verknüpft. Gefahr b) kann dagegen bei ungenügendem Korrosionsschutz und mangelhaften Abdichtungen der Kühl- und Spülkreisläufe auch für sich allein so ernsthaft werden, daß hier ebensoviel Aufmerksamkeit erforderlich ist wie bei a). Die unter c) und d) genannten Gefahrenfälle sind dagegen konventioneller Art ohne neue, für die Reaktortechnik typische Problematik.

Die wichtigsten Gegenmaßnahmen beziehen sich naturgemäß auf Gefahrenfall a). Hier sind sowohl die rein konstruktiven Schutzvorkehrungen am Reaktor selbst, als auch die meß- und steuertechnischen Sicherheitsanlagen ausführlich zu diskutieren (s. Sicherheitssystem). Ähnliches gilt für Gefahrenfall b) in bezug auf die Überwachung des physikalisch-chemischen Zustandes der Hilfskreisläufe und Schutzhüllen. Schließlich müssen die Verfahren zur Entfernung und Aufbereitung von Abfällen aller Art und die Maßnahmen zur laufenden Strahlungsüberwachung in und um die Reaktorstation genau beschrieben werden. Der S. berührt also praktisch alle wesentlichen Reaktorbestandteile und gibt damit einen guten Überblick über den jeweiligen Entwicklungsstand. [9, 21]

engl.: hazard report, report on hazards

franz.: rapport de sécurité

Sicherheitsforderungen an Reaktoren. Jede Reaktoranlage hat Forderungen bezüglich ihrer äußeren und inneren Sicherheit zu genügen, die in ihrem Sicherheitsbericht behandelt werden müssen. Erstere beziehen

Sicherheitsforderungen an Reaktoren

sich auf die möglichen Wirkungen auf die Umgebung, letztere auf Wirkungen (im Normalbetrieb und bei möglichen Unfällen) innerhalb des Reaktorgebäudes.
Die äußere Sicherheit ist gewährleistet, wenn eine radioaktive Verseuchung der Umgebung, z. B. durch Kühlwasser bzw. Gase oder bei Störungen vermieden wird. Um sie zu erreichen, müssen alle in die Umgebung austretenden Flüssigkeiten und Gase auf ihre Aktivität hin überwacht und – wenn nötig – entseucht werden. Beim Ablassen radioaktiver Gase muß eine ausreichende Verdünnung in der Atmosphäre sichergestellt sein (wetterabhängig!). Um alle möglichen Störungen am Reaktor einzugrenzen, kann es notwendig sein, diesen in ein druckfestes und gasdichtes Gebäude zu setzen. Alle diese Maßnahmen werden noch ergänzt durch einen Sicherheitsgürtel um die Anlage, der von ihrer Konstruktion und Leistung abhängt, und in dem sich nur wenig dauernd bewohnte Häuser befinden sollen (in England ca. 800 m für Leistungsreaktoren vom Calder-Hall-Typ).
Durch die Forderungen an die innere Sicherheit soll gewährleistet werden:
a) daß die Gefahren für das Betriebspersonal nicht größer als in anderen Industrieanlagen sind. Eine ständige Überwachung des Strahlungspegels muß gewährleisten, daß dieser in den vorgeschriebenen Grenzen bleibt (bei Dauerbestrahlung etwa 0,1 mr pro Stunde);

b) daß Reaktorunfälle vermieden werden und, wenn eine Störung eintritt, Gegenmaßnahmen zu ihrer Beherrschung sicher und zuverlässig eingeleitet werden können. Die Konstruktion der Anlage muß deshalb so gestaltet sein, daß nach einer auftretenden Störung die für den Betrieb Verantwortlichen Zeit haben, um die richtigen Gegenmaßnahmen zu ergreifen. Meistens ist es üblich, höchstens Störungen zweiten Grades – diese sind durch das Zusammentreffen von zwei Einzelstörungen verursacht – in Betracht zu ziehen. Beispiele für Störungen sind: Ausfall der Kühlung, Ausfall der Eigenbedarfsversorgung, Klemmen der Regel- bzw. Abschaltstäbe, Schaden an Brennstoffhülsen, Schaden am Reaktorkessel oder einer Rohrleitung usw.;

c) daß die Sicherheit der Anlage durch die in und an ihr vorgenommenen Experimente nicht gefährdet wird. Daraus resultiert eine große Zahl von Forderungen sowohl an die Art der Experimente und deren Durchführung, als auch bei vorgegebenen Experimenten an die Reaktorkonstruktion. [21]
engl.: safety requirements
franz.: exigences du point de vue de la sécurité

Sicherheitsprobleme, für die Reaktortechnik typische Probleme bei der Abwehr der neuartigen Gefahren auf Grund der außerordentlich großen Leistungsreserven und Radioaktivitätskonzentrationen in Reaktoren. Die entscheidenden S. sind daher: a) Verhinderung schneller unkontrollierter Leistungssteigerungen bei zu großen Reaktivitätssprüngen oder -steigerungen, b) Verhinderung radioaktiver Verseuchungen bei Brüchen oder Korrosionsschäden an den Brennstoffhülsen.
Problem a) läuft letztlich auf die unbedingte Einhaltung bestimmter Bedingungen für Reaktivitätsänderungen hinaus und steht deshalb einerseits in engstem Zusammenhang mit den Steuer- und Regelaufgaben, andererseits mit den im Betrieb zu erwartenden Reaktivitätsschwankungen durch absichtliche oder unabsichtliche Änderungen der Spaltzonenstruktur. Problem b) umfaßt demgegenüber eine Vielzahl von Meß- und Steueraufgaben zur Verhinderung auch verhältnismäßig kleiner und langsamer Schädigungen an den entscheidenden Strukturmaterialien innerhalb und außerhalb des Reaktors. Besondere Aufgaben ergeben sich hier bei der Entdeckung, Lokalisierung und Isolierung trotzdem aufgetretener Verseuchungen oder Strahlengefahren und bei der Entfernung und Aufbereitung der radioaktiven *Abfälle. [9]
engl.: safety problems *franz.: problèmes de sécurité*

Sicherheitssignal, aus einem Meß- oder Signalkanal austretendes elektrisches oder elektromechanisches Signal zwecks Auslösung von Sicherungsoperationen. Das S. selbst besteht entweder aus einer einfachen Schalterverstellung oder Strom- bzw. Spannungssprüngen, die der anschließenden *Sigmalinie eingeprägt werden.

Aus Sicherheitsgründen empfiehlt es sich, als Auslösesignal einen Sprung von der Strom- bzw. Spannungsbelastung auf den stromlosen Zustand oder das Öffnen sonst geschlossener Kontakte zu wählen. Die Auslösung selbst kann durch direkte mechanische Kontakte (z. B. bei Grenzschaltern an Steuerorganen) oder durch ein *Grenzwertgerät an den Meßkanälen erfolgen (z. B. bei Überschreitung der Abschaltleistung). Durch Zuschaltung mehrerer Grenzwertgeräte an einen Meßkanal lassen sich mehrere S. bei verschiedenen Meßwerten abgreifen, die zu verschiedenen Sicherheitsoperationen führen (z. B. Alarm, Rücklauf bzw. Rückstellen, Schnellschluß bzw. Schnellablaß, Notkühlung, Fluten etc.). S. Sicherheitssystem, 2-von-3-System. [9]
engl.: safety signal
franz.: signal d'alarme, signal d'alerte

Sicherheitsstab, s. Regelstäbe beim Reaktor, Trimmabschaltstäbe, Abschaltorgane, Sicherungssystem.
engl.: rod safety
franz.: barre de sécurité

Sicherungsoperation, zur Erzielung einer bestimmten Schutzwirkung dienende Kombination verschiedener Steuermaßnahmen an der Reaktoranlage. Eine der einfachsten und doch wichtigsten S. ist der *Schnellschluß, bei dem durch Parallelschaltung zahlreicher gleichwirkender Steuergeräte (Abschaltstäbe) verhältnismäßig leicht eine sehr große Sicherheit erzielt werden kann. Wesentlich problematischer sind im Hinblick auf die Zuverlässigkeit die komplizierteren S.n, wie z. B. die Sicherheitsumschaltungen der Kühlung, die umfangreiche Programmsteuerungen erfordern und infolgedessen i. a. nur einmalig eingebaut werden können. Ähnliche Probleme ergeben sich auch bei S.n, die nur in einzelnen Schritten ausgeführt werden dürfen, und zwar erst dann, wenn jeweils bestimmte Erfolgssignale des vorhergehenden Schrittes erzielt worden sind, z. B. bei gleichzeitiger stufenweiser Abschaltung von Leistung und Kühlung zur Vermeidung gefährlicher Temperaturspannungen. [9]
engl.: safety operation
franz.: manœuvre de sécurité, opération de sécurité

Sicherungssystem, Zusammenfassung aller *Über-

wachungs- und *Steuereinrichtungen, die ausschließlich zum Schutz des Reaktors und seiner Umgebung dienen, nicht dagegen zur Einhaltung des jeweils gewünschten Betriebszustandes. Direkte Steuerungen normaler Operationen (z. B. Leistungssteuerungen) werden deshalb vom S. nur dann ausgeführt, wenn andernfalls Schädigungen auftreten würden (z. B. Leistungssteuerung bei Kühlmittelausfall zur Vermeidung von Temperaturspannungen). Die große Gefahr schwerer radioaktiver Verseuchungen macht es notwendig, bei Gefahren außer den üblichen Alarmen und eventuellen automatischen Umschaltungen der normalen Steuereinrichtungen noch zusätzliche reine Sicherheitsmechanismen anzuwenden. Schließlich sind zum S. alle vorbeugenden Schutzmaßnahmen (*Verblockungen, *Verriegelungen etc.) hinzuzuzählen, die Bedienungsfehler von vornherein ausschließen sollen. Man kann deshalb zwischen Sicherheits-Signalen oder -Meldungen und den davon abgeleiteten Sicherungsoperationen unterscheiden, ferner zwischen den Geräten zum Messen, Bewerten, Verarbeiten und Steuern. Die genaue Wahl wird dabei in jedem Einzelfall vom Reaktortyp und von der zugrunde gelegten Sicherheitstheorie bestimmt. Letztere unterscheidet sich erheblich für einen Leistungsreaktor und für ein kritisches Experiment, für Experimentierreaktoren und Atomkraftwerke. Ein S. ist um so besser, je umfassender es alle in Frage kommenden, ernsthaften Gefahrensituationen beherrscht und je weniger es zugleich im normalen Betrieb in Erscheinung tritt. Die wichtigsten Gefahrfälle sind: Zerstörung der Schutzhüllen um den Brennstoff bzw. um den ganzen Reaktor und Austritt von hochaktiven Spaltprodukten in die Umgebung, mechanische Zerstörungen durch Wärmeexplosionen oder chemische Effekte, mangelhafte Abschirmung der direkten Strahlung aus dem Reaktorinneren, radioaktive Verseuchung der (Hilfs-)Kreisläufe und der Bedienungseinrichtungen, Verlust wertvoller Moderator-, Kühlmittel- oder Gasmengen, Ausfall der Experimentier- und Bestrahlungseinrichtungen.

Unter den Sicherheitssignalen sind die Leistungs-

signale von besonderer Bedeutung (s. Startunfall). Es wird deshalb allgemein ein verhältnismäßig großer Aufwand an Geräten und besonderen Schutzschaltungen getrieben, wobei die nuklearen Meßgeräte trotz ihrer Schwächen wegen ihrer unübertroffenen Schnelligkeit und Empfindlichkeit (Periodenüberwachung!) kaum zu entbehren sind. Vergleichbare Meßprobleme treten sonst nur noch bei der Überwachung der Kühlung auf, deren Ausfall einem reziproken Leistungsanstieg hinsichtlich der Gefahren äquivalent ist, und deshalb wie diese stets zu einem Schnellschluß führt. Die meisten anderen Signale lösen dagegen wesentlich langsamere Operationen aus, so daß hier normale zuverlässige Meßgeräte völlig ausreichen. Zur Umsetzung der Meßwerte in Signale dienen Kompensationsschaltungen mit geeigneten Differentialrelais oder ähnlichen Schaltern (Röhrenkippschaltungen, Magnetverstärker usw.), die häufig zu mehreren so an ein und dasselbe Meßgerät geschaltet werden, daß mit steigender Amplitude eine Folge von verschiedenen Signalen und Operationen ausgelöst wird (z. B. Alarm, Rücklauf, Schnellschluß), entsprechend der Dringlichkeit einer Gegenmaßnahme. Mehrere Signale für die gleiche Operation werden an einem Kanal oder einer Schiene (*engl.: bus*) genannten Sammelleitung zusammengeschaltet und entweder direkt oder über besondere *Programmsteuerungen an die vollziehenden Steuerorgane weitergeleitet. Besondere Verriegelungen und Verblockungen zwischen den verschiedenen Operationseinheiten müssen dabei die einzelnen Steuerungen sinngemäß aufeinander abstimmen.

Die wichtigsten Operationen bzw. Steuerungen sind: Abschaltung des Reaktors (über *Schnellschluß, verzögerter Schnellschluß, *Rücklauf, *Rückstellen), Umschaltung der Kühlung (auf andere Pumpen, Kreisläufe, Kühlmittel), Umschalten der Stromversorgung (auf anderes Netz, Notstromaggregate), Umschaltungen in den Kreisläufen (auf andere Reinigungsaggregate, Leitungsführungen, Reservoire), Abdichtungen gegen Aktivitätsausbrüche (an Experimentiereinrichtungen, Abführungsleitungen aus dem Reaktorgebäude), Sperrung bestimmter Operationsmöglichkeiten

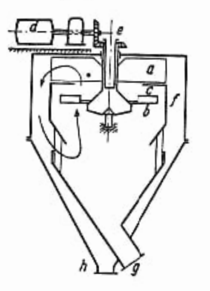
(Leistungsbegrenzung, Umladung in Betrieb) etc. Bei der technischen Ausführung muß besonderer Wert auf solideste Ausführung aller Einzelteile, gute Zugänglichkeit und einfache Überprüfungsmöglichkeiten gelegt werden. Außerdem empfiehlt es sich, die wichtigsten Meßkanäle (Leistung, Kühlung) mehrfach auszulegen und mit besonderen Hilfsschaltungen ständig automatisch miteinander zu vergleichen (*Koinzidenzschaltung, *2-von-3-Schaltung). [9]

engl.: safety system

franz.: appareillage de sécurité

Lit.: M. A. Schultz, Control of Nuclear Reactors and Power Plants, McGraw-Hill, New York, 1955. – S. Glasstone, Principles of Nuclear Reactor Engineering, van Nostrand, New York, 1955. – E. Siddall, Report Nr. 399, AECL (Canada).

Sichten dient zur Abtrennung von staubartigen Festkörperteilchen aus Gasen, um entweder den Feststoff zu gewinnen oder ihn als schädlichen oder unerwünschten Stoff aus einem Gas (Gasreinigung; Gasfiltration) zu entfernen oder ein Kornhaufwerk zu klassieren, also den Feinstkornanteil abzutrennen. Dazu dienen Windsichter (*Zyklone), Prallplattenabscheider, Textilfilter, elektrostatische Gasreiniger und schließlich die „Gaswäsche", bei der der Feststoff aus dem Gas mit einer geeigneten Flüssigkeit herausgewaschen wird. Beim Absetzen der abgetrennten Teilchen, insbesondere beim Windsichten, spielt die Absetzgeschwindigkeit, geregelt



Kreiselsichter (nach Ullmann)
a Gebläse
b Streuteller
c Regelung
d Antrieb
e Aufgabestutzen
f Ringraum
g Grobaustrag
h Feinaustrag

durch die Reynolds-Zahl und das Stokes'sche Gesetz eine wichtige Rolle. [2]

engl.: size separation; bag filtering

franz.: triage, dépoussiérage

Lit.: Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, 3. Aufl.,

München-Berlin, 1951, Bd. 1: Chemischer Apparatebau und Verfahrenstechnik.

Sidot-Blende. Kristallines Zinksulfid, das durch Zusatz von Spuren von Schwermetallsalzen den Effekt der Phosphoreszenz zeigt. S.-B. wird als Leuchtfarbe verwendet. [3]

engl.: Sidot blende *franz.: blende Sidot*

Siebboden, s. Bodenkolonne.

engl.: sieve plate

franz.: plateau perforé

Sieben dient der Trennung eines Kornhaufwerkes nach Korngrößen (s. Körnung), um die für bestimmte Reaktionen geeignetste Korngröße zu gewinnen. Bei grobem Korn, etwa über 100 mm, spricht man auch von Klassierung oder Grobklassierung. Die Zahl der verschiedenen Bauformen von Siebmaschinen ist sehr groß. Die wichtigsten Grundformen werden durch Siebtrommeln, Bandsiebe, Rundsiebe und Schwingsiebe (als modernste Bauform) gekennzeichnet. Das Gut wird beim letzteren durch Schwingung des Siebes so geschleudert, daß es sich in Wurfparabeln vorwärtsbewegt. Die Siebleistung wird durch die Siebkennziffer charakterisiert: $Z = r \cdot (2\pi n)^2/g$ für

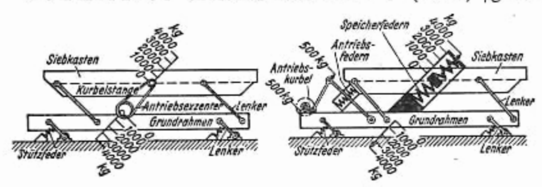


Abb. 1. Schwingungskräfte bei starrem (links) und bei Resonanzantrieb (rechts) eines Schwingsiebes (nach Ullmann).

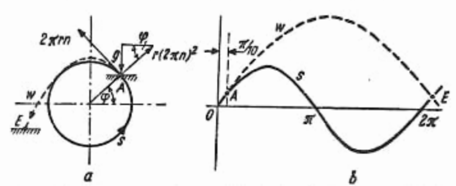


Abb. 2. Wurfbewegung im Kreisschwingsieb (nach Kießkalt)
a) unsymmetrisch mit $1 < Z < 3{,}3$
b) statistische Resonanz mit $Z = 3{,}30$

A Abwurfstelle *W* Wurfparabel
E Auftreffstelle *S* Bahnkurve des Siebes

ein Sieb mit Kreisschwingung (r Radius der Kreisschwingung, n Drehzahl des Antriebes, g Erdbeschleunigung). Ähnliche Formeln lassen sich für elliptische und lineare Schwingungen angeben. Sie entspricht der F r o u d e schen Kennziffer Fr und der Zentrifugenkennziffer Z bei den *Zentrifugen. Bei $Z = 1$ erfolgt gerade noch ein Anheben des Kornes vom Siebboden. Bei $Z = 3{,}30$ wird der optimale Zustand der s t a t i s t i s c h e n R e s o n a n z erreicht, d. h. daß die Wurfdauer des Kornes gerade gleich der Schwingungsdauer des Siebes ist. Die Antriebsenergie des Siebes wird dann am besten ausgenutzt. Allerdings muß man sich mit Näherungswerten begnügen, da man es in der Praxis stets mit Kornhaufwerken und nicht mit einzelnen Körnern zu tun hat. Die spezifische Leistung von Schwingsieben ist jedoch stets höher als diejenige z. B. von Siebtrommeln. [2]

engl.: size separation by screens

franz.: tamisage

Lit.: Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, 3. Aufl., München-Berlin, 1951, Bd. 1: Chemischer Apparatebau und Verfahrenstechnik.

Siebrückstand, s. Körnung.

Sieden, Bildung von Dampf aus der flüssigen Phase. Die Dampfbildung an beheizten Flächen beeinflußt wesentlich den Wärmeübergang. Bei wassermoderierten Reaktoren ändert sich beim S. des Moderators (Siedewasserreaktor) die Moderatordichte und damit die Reaktivität. S. a. Wärmeübertragung bei Verdampfung. [8]

engl.: boiling *franz.: ébullition*

Siedewasserreaktor. Als Beispiel für einen S. ist der Experimental Boiling Water Reactor in Oak Ridge, Tennessee, USA, unter dem Stichwort EBWR beschrieben. Die wesentlichen Merkmale eines Kraftwerkes mit einer S.-Anlage sind:

1. Es wird an der Oberfläche der Brennstoffelemente S i e d e n zugelassen, und zwar unter Vermeidung von Dampffilmbildung (Ablösung einzelner Dampfblasen, *nuclear boiling*). Die obere Grenze der hier zulässigen Wärmebelastung der Brennstoffelemente liegt bei 140 W/cm². Um eine ausreichende moderierende Wirkung des Wassers zu sichern und um Instabilitäten

Siedewasserreaktor

(Aufschaukeln von Leistungsschwingungen) zu vermeiden, soll die durch Dampfblasen vernichtete Reaktivität nicht mehr als 2,5 % betragen.

2. Die Leistungsdichte n_g ist wegen den bei größeren n_g-Werten auftretenden Unregelmäßigkeiten im Dampfausstoß *(chugging)* etwas kleiner als beim *Druckwasserreaktor.

3. Bei verhältnismäßig niedrigen Drücken (70 bis 100 atm) lassen sich etwas höhere Temperaturen als beim Druckwasserreaktor erreichen (rund 300 °C). Der dadurch vereinfachte Bau des Druckkessels macht Anlagen hoher Leistung möglich. Natürlich wird nur Sattdampf erzeugt, der hier entweder direkt über einen Wasserabscheider in eine Turbine geleitet werden kann (Direkteinspeisung), oder in einem Wärmeaustauscher seine Energie an einen Sekundärdampfkreis (geschlossener Kreislauf, Abb. 1) abgibt.

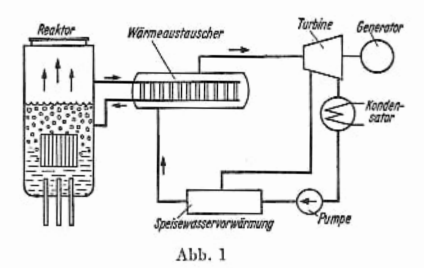


Abb. 1

a) Bei letztgenannter Möglichkeit verursacht der Wärmeaustauscher zusätzliche Kosten. Es ergeben sich aber auch folgende Vorteile:

Der u. U. radioaktive Dampf des Primärkreises wird nicht in die Turbine geleitet, wodurch an Abschirmung gespart wird. Bei Verwendung von natürlicher Konvektion im Primärkreis besitzt dieser keine sich bewegenden Teile (z. B. Pumpen), was einen einfachen und sehr sicheren aktiven Kreislauf ermöglicht.

Ein Wärmeaustauscher, der auf der einen Seite mit Dampfkondensation, auf der anderen mit Verdampfung arbeitet, ist für einen gegebenen Durchsatz kleiner und daher wirtschaftlicher als andere.

Für die Regelung des Reaktors ist der als Wärmekapazität wirkende Wärmeaustauscher vorteilhaft.

b) Eine Direkteinspeisung des im Reaktor erzeugten Dampfes erfordert einen dichten Dampf-Wasserkreislauf. Die wichtigsten Vorteile eines solchen sind die Verbesserung des Kraftwerkswirkungsgrades (fehlende Verluste im Wärmeaustauscher) und eine beträchtliche Verringerung der Anlagekosten. Bei hohen Leistungen erhält man eine möglichst große Leistungsdichte und eine gute Regelbarkeit durch die Erzeugung eines Teiles des Dampfes in einem zweiten Kreislauf (Zweikreislaufsystem, Abb. 2). Von der Verwendung von D_2O ver-

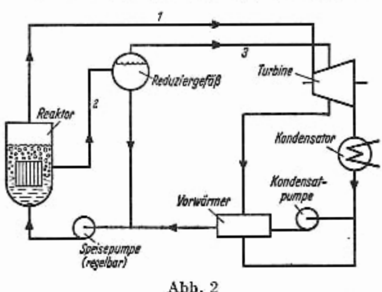


Abb. 2

spricht man sich vor allem bei großen Leistungen eine gute Wirtschaftlichkeit, insbes. dann, wenn die außerhalb des Reaktors befindliche Menge D_2O gegenüber anderen Konstruktionen klein ist.

4. Das Regelverhalten des S.s ist gegenüber einem Druckwasserreaktor sehr kompliziert. Dies ist bedingt durch den Dampfblasenkoeffizienten der Reaktivität, der sowohl positiv wie negativ sein kann. Um einen negativen Dampfblasenkoeffizienten zu erzielen, darf bei großen Leistungen das Verhältnis von Wasser- (H_2O) zu Uranvolumen nicht größer als etwa 2 sein, bei kleineren Leistungen und auch bei Verwendung von angereichertem Brennstoff kann dieses Verhältnis etwas größer sein (rund 3,5). Außerdem sind die Abmessungen der Spaltzone von Einfluß, und zwar wegen des von der Dampfblasenkonzentration abhängigen Neutronenausflusses. Beim Reaktorstart ist zu beachten, daß mit steigender Wassertemperatur der negative Anteil des

Dampfblasenkoeffizienten größer, der positive kleiner wird. Bei negativem Koeffizienten reagiert der Einkreis-Reaktor zunächst auf eine Lastforderung der Turbine gerade verkehrt. Sinkt nämlich bei Leistungsmehrbedarf Druck und Temperatur des Dampfes, so setzt zunächst eine vermehrte Dampfblasenbildung ein. Diese bedingt aber einen Reaktivitätsverlust. Erst die dadurch verursachte Abkühlung des Wassers (zeitlich verzögert) gibt einen positiven Beitrag zur Reaktivität. Ein durch Bewegung der Regelstäbe gegebener Reaktivitätsüberschuß verursacht zunächst auch vermehrte Dampfblasenbildung, so daß entgegen dem Verhalten anderer Reaktoren die Leistung zunächst nicht exponentiell ansteigt. Bei einer gewissen Überschußreaktivität – abhängig von der Reaktorkonstruktion, der Leistungsdichte, Druck und Temperatur – treten Oszillationen der Blasenbildung und der Reaktivität auf. Sie sind zu vermeiden.
Bei Verwendung eines zweiten Kreislaufes (Zweikreissystem) kann das ungünstige Regelverhalten des S. wesentlich verbessert werden. Abb. 2 zeigt schematisch eine Möglichkeit dazu. Ein Teil der Verdampfungsleistung wird vom Reduziergefäß übernommen, derart, daß durch die Leitung 2 heißes Wasser bei Reaktorkesseldruck p_a eingeleitet wird. Dieses Wasser expandiert im Reduziergefäß durch Düsen adiabatisch auf einen kleineren Druck p_b. Dabei entsteht Sattdampf vom Druck p_b, der über die Leitung 3 dem Mitteldruckanteil der Turbine zugeführt wird. Über die Kondensatpumpe, die Vorwärmergruppe und die regelbare Speisepumpe wird das Kondensat bzw. Speisewasser wieder dem Reaktor zugeführt. Wird nun z. B. eine Lasterhöhung verlangt, so bleibt der durch die Leitung 1 dem Hochdruckteil der Turbine zugeführte Dampf bezüglich Menge und Druck konstant. Vergrößert wird aber die durch die Leitung 3 dem Mitteldruckteil zuströmende Dampfmenge. Dadurch sinkt im Reduziergefäß *(flash tank)* der Druck ab, wodurch über 2 mehr Heißwasser nachströmt. Die regelbare Speisepumpe drückt nun, um den Wasserstand im Reduziergefäß konstant zu halten, mehr Wasser in den Reaktor, wodurch sich der Reak-

tor durch Vergrößerung der Reaktivität der Last anpaßt. Durch das geschilderte Prinzip kann die Stabilität des Reaktors wesentlich erhöht werden. Die für das Direktsystem typische Leistungsdichte von 10 kW/l kann so bis auf 45 kW/l gesteigert werden.

Die Abb. 3 zeigt eine andere Variante eines Zweikreissystems.

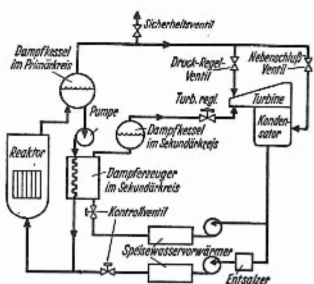


Abb. 3

5. Beim S. werden im wesentlichen dieselben M a t e r i a l i e n wie beim Druckwasserreaktor verwendet (rostfreier Stahl, Zircaloy II). Ihre Beanspruchung, insbesondere die der Brennstoffhülsen, wird durch das Sieden – verglichen mit der im Druckwasserreaktor – vergrößert. In der im Direktkreislauf betriebenen Turbine braucht man im allgemeinen keine unkonventionellen Materialien. Um Korrosion und Erosion in Grenzen zu halten, findet ein Stahl von hohem Chromgehalt Verwendung.

6. Für die Konstruktion und das Material der B r e n n s t o f f e l e m e n t e gilt dasselbe wie beim Druckwasserreaktor. Nur muß man dabei den durch das Sieden bedingten Forderungen gerecht werden. So sind Brennstoffe mit niedrigem Anreicherungsgrad (1,8 bis 2 %) günstig. Sogar ein Natururan-D_2O-Reaktor bietet Vorteile.

Zur Erzielung eines möglichst konstanten Neutronenflusses in axialer Richtung bietet sich hier die neue Möglichkeit der Einführung von Absorbermaterial (z. B. Regelstäbe) in das nicht siedende Gebiet. Aus diesem Grund ist die Anordnung der Regelstäbe unterhalb des Reaktorkerns zweckmäßig (Abb. 4).

7. Die für eine S.-Anlage typischen **N e b e n a g g r e g a t e** und Einrichtungen sind:

Siedewasserreaktor

a) *Kühlmittelaufbereitungssystem. Um die Radioaktivität des Wassers so gering wie möglich zu halten, müssen dem Wasser laufend Verunreinigungen entzogen werden. Die zugelassene Verunreinigung (in

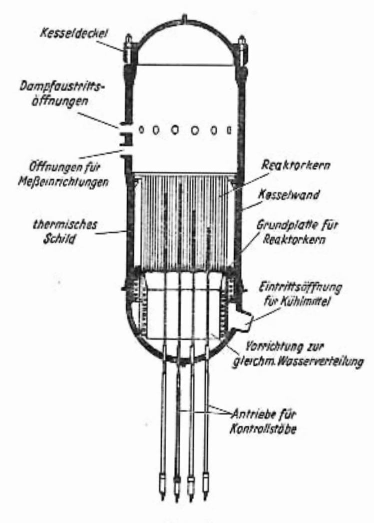


Abb. 4

ppm) gleicht etwa der in anderen Wasserreaktoren, liegt jedoch weit unter der in konventionellen Kraftwerken üblichen;

b) Dampftrommeln, zur Trennung des im Reaktor erzeugten Wasser-Dampfgemisches in Wasser und Dampf. Im Zweikreissystem (Abb. 3) ist auch ein kleiner Wärmeaustauscher nötig;

c) Pumpen im Zweikreislaufsystem;

d) zusätzliche Regel- und Kontrolleinrichtungen, die durch das Arbeiten der Turbine mit radioaktivem Dampf und den Dampfblasenkoeffizienten der Reaktivität bedingt sind;

e) Einrichtungen für radioaktiven *Abfall. Dieser fällt wie beim Druckwasserreaktor vor allem in den

Ionenaustauschern der Wasseraufbereitungsanlage an;
f) Brennstoffelement-Auswechselsystem. Ein Auswechseln während des Betriebs ist z. Z. nicht möglich;
g) Sicherheitseinrichtungen. Um einen Austritt des aktiven Dampfes aus dem Reaktor im Unglücksfall zu beherrschen, werden alle davon betroffenen Anlageteile in ein druckfestes und dichtes Gebäude gesetzt. – Das Arbeiten mit aktivem Dampf in der Turbine erfordert zahlreiche Sicherheitseinrichtungen, wie Betonabschirmungen und ein Überwachungssystem.

Ein automatischer S. ist eine vorgeschlagene Variante des normalen Siederwasserreaktors, in der die Ergebnisse von Experimenten mit „Spert I“ verwertet werden. Als entscheidende Neuerung ist die Regelung des Reaktors allein durch die Menge des in die Spaltzone gepumpten Wassers – also der Höhe der Wasseroberfläche – vorgesehen. Die Spaltzone ist daher während des Betriebes im allgemeinen nicht vollständig mit H_2O gefüllt. Man erwartet dadurch folgende Vorteile:

a) Große Einfachheit der Anlage, keine Regelstäbe, einfaches Anfahren; es ist ein Minimum an nuklearer Instrumentierung nötig;
b) gutes Verhalten bei Lastforderungen,
c) gute inhärente Stabilität,
d) für große Leistungen geeignet,
e) hoher Abbrand des Brennstoffs durch Verwendung einer sehr langen Spaltzone. Damit kann auch die Xe-Vergiftung nach Abschalten immer überwunden werden. [21]

engl.: boiling water reactor
franz.: réacteur à eau bouillante

Sievert-Einheit, Einheit der Gammadosis. Eine Quelle von 1 mg Radium in einer Platinhülle von 0,5 mm Dicke liefert im Abstand 1 cm in einer Stunde die Dosis 1 Sievert. Die S.-E. ist numerisch etwa gleich 8,4 Röntgen. Veraltet. [6]

Sigma-Linie oder **Sigma-Schiene,** Leitung oder Geräteanordnung, in der alle zur gleichen *Sicherheitsoperation führenden Sicherheitssignale gesammelt und auf die zugehörigen Steuerorgane bzw. Programmsteuerungen gleichmäßig verteilt werden. Die Bezeich-

nung S. (auch Sammelschiene) wird besonders für die zum Schnellschluß führende Sammelleitung benutzt. Im *Sicherheitssystem stellen die S.n häufig besonders schwache Stellen dar, weil dort die vorher und hinterher bestehende Parallelschaltung mehrerer gleichwirkender Einrichtungen, z. B. das 2-von-3-System, unterbrochen werden muß. Vollständige Parallelschaltungen aller zugehörigen Meß- und Signalkanäle bis an jedes einzelne Steuerorgan heran oder feste Zuordnungen entsprechend vieler Steuerorgane zu den einzelnen Signalkanälen lassen sich aus technischen und kostenmäßigen Gründen im allgemeinen nicht durchführen. Auf die Anwendung der S. kann deshalb normalerweise nicht verzichtet werden. [9]
engl.: sigma bus *franz.: commande à canal unique*

Sigma Reaktor heißt eine Anhäufung von Bremssubstanz, in die man eine Neutronenquelle setzt. Man studiert deren Verteilung, um Aussagen über Bremslängen, Diffusionslängen u. dgl in der betreffenden Substanz zu machen. [7]
engl.: sigma pile *franz.: pile sigma*

Signaltafel, gemeinsame Anordnung aller zum gleichen Signaltyp gehörenden Signalgeber, z. B. aller Alarm-, Schnellschluß-, Notkühlungs-, Verseuchungs-, Korrosionssignale, auf einem gemeinsamen Feld der Meßgestelle in der Schaltwarte. Das Gegenstück zu den S. sind Schalttafeln mit Betriebsschaubildern, in denen alle zum gleichen physikalischen Steuerobjekt gehörenden Meß- und Steuereinrichtungen nach der Art eines Schaltbildes gemeinsam angeordnet sind. Die zuletzt genannten Tafeln sind besonders für den laufenden Betrieb vorteilhaft, die S. dagegen mehr zur schnellen Information bei eventuellen automatischen Sicherheitsoperationen. [9]
engl.: signal panel
franz.: tableau de signalisation

Silber 108, 110 und 111. ^{108}Ag und ^{110}Ag* gehören wegen des hohen Aktivierungsquerschnitts des natürlichen Isotopengemisches neben ^{116}In und ^{104}Rh und einigen seltenen Erden zu den Isotopen, die bereits durch Bestrahlung natürlichen Silbers mit radioaktiven Neutronenquellen in relativ hoher spezifischer Aktivität

darstellbar sind. Sie dienen als Neutronenindikatoren. In der Isotopentechnik wird häufiger mit dem ^{110}Ag im Grundzustand gearbeitet, der mit 270 Tagen Halbwertszeit zerfällt. Außerdem gibt es noch das Silberisotop 111, das vorzüglich durch Neutronenbestrahlung des Palladiums entsteht und leicht von dem primär gebildeten β-aktiven ^{111}Pd chemisch abgetrennt und angereichert werden kann.

Übersicht:

Isotop	Erzeugung	Halbwertszeit	Strahlung	Störstrahlung
^{108}Ag	^{109}Ag (n, γ)	2,3 m	β, γ	^{110}Ag*, ^{110}Ag
^{110}Ag*	^{109}Ag (n, γ)	24,5 s	β, γ	^{108}Ag, ^{110}Ag
^{110}Ag	^{109}Ag (n, γ)	270 d	β, γ	keine
^{111}Ag	^{110}Pd (n, γ)	7,5 d	β, γ	^{103}Pd, ^{109}Pb

[16]

engl.: silver *franz.: argent*

Silizium 31. In der Isotopentechnik wird das radioaktive ^{31}Si hauptsächlich zur radiochemischen *Aktivierungsanalyse von Silizium-haltigen schwer aufschließbaren Substanzen benützt. Die kurze Halbwertszeit stellt zwar einen Vorteil bei der *Abfallanalyse dar, verhindert jedoch einen Gebrauch des Isotops in Gegenden mit ungünstiger Transportverbindung zu einem Atommeiler. Man gewinnt es gewöhnlich durch Bestrahlung von natürlichem Silizium mit langsamen Neutronen über die Reaktion ^{30}Si (n, γ), oder auch durch Bestrahlung von Schwefel oder Phosphor mit schnellen Neutronen mittels der Reaktionen:

$$^{34}\mathrm{S}\ (\mathrm{n}, \alpha) \text{ bzw. } ^{31}\mathrm{P}\ (\mathrm{n}, \mathrm{p}).$$

Halbwertszeit 170 min, Betastrahlung 1,47 MeV. [16]
engl.: silicon 31 *franz.: silicium 31*

Silumin, geschützte Werksbezeichnung für den Urtyp eutektischer Aluminium-Silizium-Legierungen mit ungefähr 11 bis 13,5 % Silizium. Diese Legierungen haben gute Gießeigenschaften, gute chemische Beständigkeit und sind schweißbar. Durch Veredelung (besondere Abkühlbedingungen, Natriumzusatz) entsteht ein feinkörniges, technologisch günstiges Gefüge. Weitere geschützte Markenbezeichnungen für ähnliche

Original-Hüttenlegierungen sind: S.-Beta, S.-Gamma, Silafont, Unifont u. a. [4]

Simulator, s. Reaktor-Simulator.
engl.: simulator *franz.: simulateur*

simultan, svw. gleichzeitig gültig.
engl.: simultaneous *franz.: simultané*

Sintermetallurgie. Bezeichnung für *Pulvermetallurgie.
engl.: powder metallurgy
franz.: métallurgie des poudres, frittage

Sintern. Herstellung eines kompakten Körpers durch Erhitzen eines gepreßten Pulvers unterhalb der Schmelztemperatur. Der Prozeß ist aus der Keramikherstellung seit dem Altertum bekannt. Gesinterte Werkstücke werden vor oder während der Sinterung in die gewünschte Form gepreßt (*Kalt- und *Warmpressen) und erfordern keine Nachbearbeitung (*Pulvermetallurgie). [4]
engl.: sintering *franz.: frittage*
Lit.: R. Kieffer u. P. Schwarzkopf, Hartstoffe und Hartmetalle, Springer, Wien, 1953. – F. Skaupy, Metallkeramik, 4. Aufl., Verlag Chemie, Weinheim, 1950.

SIR, *Sodium Intermediate Reactor*, s. Mark A, B.

Skalenfaktor bei *Analogrechenmaschinen, in die Rechnung willkürlich eingeführte Faktoren, um den Arbeitsbereich der elektrischen Elemente des Gerätes optimal zu nutzen. [7]
engl.: scaling factor
franz.: facteur d'intégration

slip flow method, s. Druckverlust.

S_n-Methode, s. Carlsonsche Methode.
engl.: S_n-method *franz.: méthode S_n*

Soliduslinien, s. Zustandsbild.
engl.: solidus lines
franz.: solidus, courbe de solubilité

Solleistung, Sollwert der Leistung bei automatischer Leistungsregelung (s. Regelung). [9]
engl.: power demand
franz.: puissance de pré-réglage

Sollwert, zu einem vorgegebenen Wert der Regelgröße proportionaler positiver Eingangswert am Komparator eines Regelkreises; bei der Reaktorregelung speziell der vorgegebene und durch den Regler kon-

stant zu haltende äquivalente Wert zur Leistung bzw. zum Neutronenfluß.

Bei großen sprungweisen Änderungen des S.s können gefährliche Überschläge eintreten. Deshalb wird die Verstellgeschwindigkeit des S.s bei Reaktorregelungen häufig durch einen Motorantrieb zwangsläufig auf einen ungefährlichen Wert herabgesetzt. S.e, die durch andere Steuer- oder Regeleinrichtungen laufend verstellt werden, nennt man Führungsgrößen. Als solche wirkt beispielsweise der Neutronenfluß-S. bei *Kraftwerksregelungen, in denen die Neutronenflußregelung der Leistungsregelung untergeordnet ist. [9]

engl.: pre-set value

franz.: valeur de pré-réglage

Lit.: s. Regelung.

Solventextraktion. Man versteht darunter i. a. die *Extraktion in flüssigen Systemen im Gegensatz zur *Auslaugung fester Stoffgemenge mittels geeigneter Lösungsmittel. Die S. hat in den letzten Jahren in der Technik große Bedeutung gewonnen (Erdölindustrie, Phenolgewinnung, Nitrierung, Fischer-Tropsch-Synthese u. v. a. m.). Auch bei der S. gibt es eine Gleichgewichtskurve (s. Rektifikation), die auszusagen vermag, wie schwierig das Entmischen ist. In der Kerntechnik wird die S. vor allem dazu verwendet, um das Uran aus den in den vorhergehenden Verfahrensschritten der Aufbereitung hergestellten Mischun-

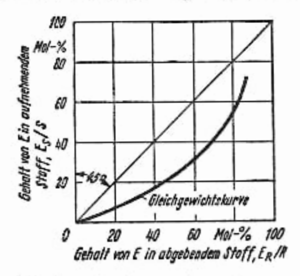


Abb. 1. Gleichgewichtskurve einer Solventextraktion. Einzelheiten im Text.

gen so rein wie möglich zu gewinnen, und zwar sowohl bei der Darstellung von Uran aus den Ausgangserzen wie auch bei der Aufarbeitung erschöpfter Spaltstoff-

elemente (s. Urangewinnung und Kernbrennstoffaufbereitung). Es handelt sich hierbei grundsätzlich um die Extraktion von Uranylverbindungen aus einer wässerigen Lösung mit Hilfe eines organischen Lösungsmittels, welches nur das Uranylsalz aus der wässerigen Lösung aufnimmt, nicht jedoch die anderen gelösten Stoffe, also um ein sog. „selektives" Herauslösen. Dabei ist Voraussetzung, daß das Wasser und das verwendete, selektive, organische Extraktionsmittel nicht ineinander löslich sind. Den Vorgang der S. kann man

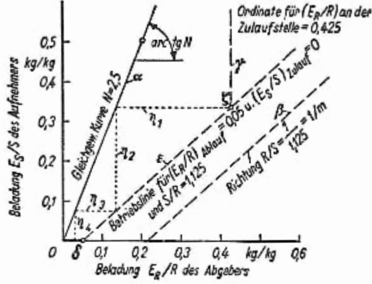


Abb. 2. Bestimmung von Stufenzahl und S/R im Gleichgewichtsdiagramm nach Abb. 1. Reihenfolge α–β–γ–δ–ε–ζ–η_{1-4}.

sich demnach am anschaulichsten so vorstellen, daß zwischen zwei ineinander unlöslichen flüssigen Phasen, dem „Abgeber" R und dem „Aufnehmer" S (Extraktionsmittel) der zu extrahierende Stoff E, also in unserem speziellen Falle das Uranylsalz (praktisch stets als Uranylnitrat $UO_2[NO_3]_2$), wandert. Jede Phase besteht aus einem Lösungsmittel für den wandernden Stoff und dem wandernden Stoff selbst. Auch hier bietet die Anwendung von Gegenstrom zwischen den beiden Phasen wie bei der *Rektifikation die Möglichkeit, die Entmischung über den bei einmaliger Verrührung („eine Stufe") erreichbaren Grad zu steigern. Der Gegenstrom setzt allerdings voraus, daß der Dichteunterschied zwischen den beiden Lösungsmitteln hinreichend groß ist und sie leicht in Form einer Emulsion ineinander verteilbar sind. Um die Zahl der Stoffe und den Bedarf an Extraktionsmittel ermitteln zu können, muß man die Gleichgewichtskurve, i. a. durch Messung,

ermitteln oder in einfachen Fällen berechnen. Wie man dazu bei der Rektifikation das R a o u l t sche Gesetz anwendet, so gilt bei der S. das N e r n s t sche V e r -

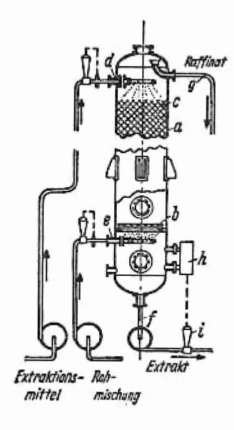


Abb. 3.

Füllkörpersäule (nach Ullmann)
a Kolonne
b Tragrost
c Füllkörper
d Einlauf für Aufnehmer
e Einlauf für Abgeber
f Extraktauslaß
g Raffinatauslaß

t e i l u n g s g e s e t z in abgewandelter Form als sog. ideales Beladungsgesetz, wobei man unter Beladung den Quotienten aus dem in jeder Phase enthaltenen Stoff E_R bzw. E_S und dem Lösungsmittel R bzw. S, also E_R/R bzw. E_S/S versteht. Daraus ergibt sich dann der N e r n s t sche Verteilungskoeffizient

$$N = E_S \,/\, V_S \,:\, E_R \,/\, V_R$$

für stark verdünnte Lösungen, bei denen das Volumen V_S bzw. V_R der Lösungen gleich dem Volumen $V(S + E_S)$ bzw. $V(R + E_R)$ mit praktisch hinreichen-

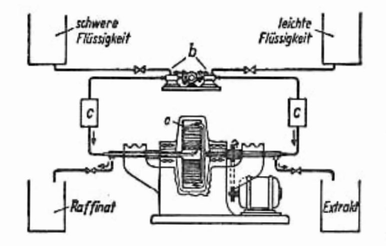


Abb. 4.

Podbielnak-
Extraktor
a Rotor
b Dosierpumpe
c Heizung

der Genauigkeit gesetzt werden kann. Dabei können E_S und E_R in Gewichtsmengen oder Molzahlen ausgedrückt werden. Das Nernstsche Gesetz ist bei verdünnten Lösungen ebenso wie das Henrysche Gesetz thermodynamisch fundiert. Für ein „ideales" Extraktionssystem ist die Gleichgewichtskurve einfach eine Gerade: $N = \text{const}$, R und S ineinander unlöslich. Ähnlich den graphischen Verfahren von McCabe und Thiele bei der Rektifikation kann man auch bei der S. auf graphischem Wege durch einen treppenartigen Linienzug die Zahl der Stufen oder Böden bestimmen. Die Verwirklichung der theoretischen Böden oder Stufen erfordert bei der S. i. a. einen merklich größeren Aufwand als bei der Rektifikation. Im Prinzip jedoch verwendet man auch hier *Füllkörpersäulen und *Bodenkolonnen. Darüber hinaus sind Rührkolon-

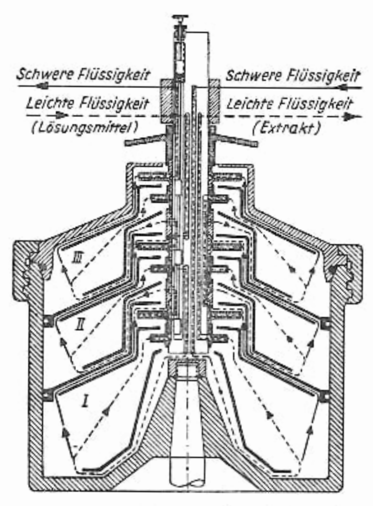


Abb. 5. Luwesta-Extraktor (nach Ullmann)
I, II, III Scheidekammern

nen, pulsierende Kolonnen und zentrifugenartige Extraktionsmaschinen, sog. Extraktoren (Podbielnak, Luwesta) gebräuchlich. Bei der Urangewin-

nung verwendet man als Aufnehmer für das Uranylnitrat bestimmte organische Lösungsmittel wie Äther, Tributylphosphat u. a. Äther ist sehr selektiv, hat aber den Nachteil seiner hohen Explosionsgefährlichkeit. [2]
engl.: solvent extraction
franz.: extraction au solvant

Lit.: Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, 3. Aufl., München-Berlin, 1951, Bd. 1: Chemischer Apparatebau und Verfahrenstechnik (dort weitere Literaturhinweise).

Sorbend, syn. mit **Sorptiv,** s. Adsorbieren.
engl.: adsorbate
franz.: adsorbat

Sorbens, s. Adsorbieren.
engl.: adsorbent
franz.: adsorbant

Spaltausbeute. Bei der Kernspaltung ist die symmetrische Aufteilung in zwei gleiche Spaltprodukte viel weniger wahrscheinlich als eine unsymmetrische Spaltung, s. Abb. auf S. 376. Die Maxima der Spaltprodukte liegen bei Atomgewichten von etwa 96 und 136. Die Kurven der S. in Abhängigkeit von Atomgewicht hat dementsprechend zwei Maxima. Für die Spaltung durch schnelle und thermische Neutronen sowie für Spaltung der verschiedenen Kerne ^{233}U, ^{235}U, ^{239}Pu und ^{238}U sind die S.-Kurven ähnlich aber nicht identisch. Das Minimum verschwindet erst, wenn das auslösende Teilchen eine Energie von 10^8 bis 10^9 eV besitzt, braucht also für Spaltneutronen nicht berücksichtigt zu werden. [17]
engl.: fission yield
franz.: rendement de fission

spaltbar heißt ein Kern, wenn er mit thermischen Neutronen in zwei etwa gleich große Bruchstücke unter Energiefreisetzung zu zerlegen ist. Die wichtigsten spaltbaren Kerne sind Uran 233, Uran 235 und Plutonium 239. Dazu kommen die bei längerem Reaktorbetrieb durch mehrfachen Neutroneneinfang entstehenden Kerne ^{241}Pu und ^{242}Am, die mit thermischen Neutronen spalten. Ihre Häufigkeit ist jedoch so gering, daß ihre Existenz nur bei der Berechnung des Langzeitverhaltens eines Reaktors berücksichtigt werden muß.

Tabelle der spaltbaren Kerne mit einem thermischen Spaltquerschnitt $\sigma_f > 10$ barn für 2200 m/s-Neutronen oder Reaktorneutronen (*).

Kern	Zerfallszeit $T_{1/2}$	σ_f (barn)
$^{223}_{88}Ra$	11,2 d	< 100
$^{227}_{90}Th$	18,6 d	1500 ± 1000
$^{229}_{90}Th$	$7{,}3 \cdot 10^3$ a	45 ± 11
$^{230}_{91}Pa$	17,3 d	1500 ± 250
$^{232}_{91}Pa$	1,31 d	700 ± 100
$^{233}_{92}Th$	23,3 m	15 ± 2*
$^{234}_{91}Pa\,(UX_2)$	1,18 m	$\leqq 500$
$^{234}_{91}Pa\,(UZ)$	6,7 h	$\leqq 5000$
$^{230}_{92}U$	20,8 d	25 ± 10
$^{231}_{92}U$	4,3 d	400 ± 300
$^{232}_{92}U$	73 a	80 ± 20
$^{233}_{92}U$	$1{,}61 \cdot 10^5$ a	527 ± 4
$^{235}_{95}U$	$7{,}1 \cdot 10^8$ a	582 ± 6
$^{239}_{92}U$	23,5	14 ± 3*
$^{234}_{93}Np$	4,4 d	900 ± 300
$^{238}_{93}Np$	2,10 d	1600 ± 100
$^{276}_{94}Pu$	2,7 a	160 ± 50
$^{238}_{94}Pu$	89,6 a	$16{,}6 \pm 0{,}4$
$^{239}_{94}Pu$	$2{,}44 \cdot 10^4$ a	746 ± 8
$^{241}_{94}Pu$	13,2 a	1025 ± 10
$^{242}_{95}Am$*	15,8 h	2500 ± 1000
$^{242}_{95}Am$	500 a	6400 ± 500*
$^{243}_{96}Cm$	35 a	700 ± 50
$^{245}_{96}Cm$	$2 \cdot 10^4$ a	1900 ± 200
$^{249}_{98}Cf$	470 a	600 ± 400*

Die Anwendung des Attributs „spaltbar" auf Kerne, die wie Uran 238 nur mit schnellen Neutronen spalten, sollte vermieden werden.

Eine Übersicht über die spaltbaren Kerne gibt die Tabelle. [7]

engl.: fissionable *franz.: fissible*

Spaltenergie, s. Kernspaltung.

engl.: fission energy *franz.: énergie de fission*

Spaltenmatrix, Zeilenmatrix, Matrix, bestehend aus einer einzigen Spalte (Zeile). Eine S. wird mit

einer links von ihr stehenden quadratischen Maxrix nach den üblichen Regeln der Matrixmultiplikation multipliziert und ergibt wieder eine Spaltenmatrix. Analoges gilt für Z. und rechts von ihr stehende quadratische Matrizen. Z. und S. werden zur Darstellung des Neutronenflusses in der Mehrgruppentheorie, *Gruppendiffusionstheorie benutzt, s. a. Matrixdarstellung der Reaktorgleichung und Einflußfunktion. [7]

engl.: column matrix; row matrix

franz.: matrice-colonne, matrice-ligne

Spalterwartung, asymptotische. Setzt man in einen kritischen Reaktor an der Stelle $\mathfrak{r}$ insgesamt Q_0 Neutronen der Energie E ein, so wächst die Leistung des Reaktors und damit die Zahl der Spaltungen pro Generation an und erreicht ein neues Niveau. Die Zahl der zusätzlichen Spaltungen, bezogen auf e i n eingesetztes Neutron, nennt man a. S.-E. Es ist nach dieser Definition

$$F(\mathfrak{r}, E) = \frac{l}{Q_0} \int_R \int_0^\infty \Sigma_f(E') \, \Phi_\infty(\mathfrak{r}', E') \, \mathrm{d}E' \, \mathrm{d}V' .$$

Dabei bedeutet l die Neutronen-Lebensdauer und Σ_f den Spaltquerschnitt. Φ_∞ ist der durch das Einsetzen der Neutronen zusätzlich hervorgerufene Fluß nach hinreichend langer Zeit. Die a. S.-E. steht in engem Zusammenhang mit der *Einflußfunktion $I(\mathfrak{r}, E)$ des Reaktors. Es ist

$$I(\mathfrak{r}, E) = \frac{\int\int (1/v') \, \Phi' \, \mathrm{d}E' \, \mathrm{d}V'}{\int\int \Sigma_f' \, \Phi' \, \mathrm{d}E' \, \mathrm{d}V'} \cdot F(\mathfrak{r}, E) .$$

Hier steht im Nenner die Zahl der Spaltungen pro s, im Zähler der Neutroneninhalt des Reaktors. [13]

engl.: iterated fission expectation (probability)

franz.: rendement asymptotique de fission

Spaltfaktor, thermischer, bezeichnet die Größe η oder η', s. Neutronenvermehrung. [7]

engl.: thermal fission factor

franz.: facteur de fission thermique

Spalt-Gamma-Strahlen. Als S. („Spaltgamma") werden die Photonen bezeichnet, die in einem Zeitintervall von $\lesssim 1\,\mu s$ nach der Spaltung emittiert werden. Die

totale Gammaenergie pro Spaltung beträgt bei ^{235}U etwa 7,5 MeV. Nach Messungen von G a m b l e werden pro Spaltung im Mittel sieben Quanten emittiert, deren Energien zwischen 0,25 und 7 MeV liegen. Bei der thermischen Spaltung von ^{233}U und ^{239}Pu ergeben sich dieselben Resultate. [17]
engl.: fission gammas
franz.: gammas de fission

Spaltkammer, dient zum Nachweis thermischer Neutronen. Ionisationskammer oder Zählrohr, in dem meist auf der Kathode eine Schicht angebracht ist, die spaltbares Uran (oder Pu) enthält. Einfallende thermische Neutronen werden durch die energiereichen Impulse der Spaltungstrümmer nachgewiesen, die von dem energieschwächeren Alpha-, Beta- und Gamma-Untergrund diskriminiert werden können. [6]
engl.: fission chamber
franz.: chambre à fission
Lit.: E. Fünfer u. H. Neuert, Rossi, B.B.

Spaltneutronen sind die bei einer Kernspaltung frei werdenden Neutronen. Sie haben ein kontinuierliches Energiespektrum mit einem Maximum bei 1 MeV, das zu niedrigeren Energien steil, zu höheren Energien flach abfällt (s. Spaltspektrum). Die überwiegende Mehrzahl der S. wird beim Spaltprozeß in weniger als 10^{-14} s emittiert. Sie werden als p r o m p t e Neutronen bezeichnet. Daneben gibt es *v e r z ö g e r t e Neutronen, die wesentlich später erscheinen. Sie werden nicht beim Spaltprozeß selbst frei, sondern von sekundären Spaltprodukten nach einer bestimmten Zeit abgegeben. Ihr Anteil liegt unter 1 %. Eine Übersicht über die Zahl ν der je thermischer Spaltung emittierten Neutronen gibt die Tabelle für die wichtigsten spaltbaren Kerne. ν ist schwach von der Energie abhängig.

Kern	Uran 235	Uran 233	Plutonium 239
ν	2,47 ± 0,03	2,51 ± 0,03	2,91 ± 0,04

[7]

engl.: fission neutrons *franz.: neutrons de fission*

Spaltprodukt-
ausschlackung

Spaltproduktausschlackung ist die Überführung von Spaltprodukten aus einer flüssigen, metallischen Uranschmelze entweder in eine feste, in Uran unlösliche Form oder in eine Salzform, die man mittels geschmolzener, mit Uran nicht mischbarer Salze, aus der Uranschmelze extrahieren kann. Die Überführung der Spaltprodukte in eine, in flüssigem Uran unlösliche Form (Schlacke) geschieht entweder mittels einer vorsichtig durchgeführten Oxydation oder Karbidbildung. Es zeigt sich, daß die Spaltprodukte bis auf wenige Ausnahmen alle reaktionsfreudiger sind als das Uran und darum eher als dieses in die Oxyd- oder Karbidform übergehen.

Durch Fluorierung oder Chlorierung lassen sich die Spaltprodukte in die Halogensalzform überführen und werden aus einer Uranschmelze mittels Fluoridsalzschmelzen extrahiert. Ein beträchtlicher Teil des Urans wird bei der Halogenisierung der Spaltprodukte ebenfalls in die Halogensalzform übergeführt. Darum ist eine anschließende Reduktion der Urankationen in metallisches Uran notwendig. Die Reduktion kann sowohl kathodisch als auch mittels Mg-Metall durchgeführt werden. Während die Urankationen mittels Mg-Metall zu metallischem Uran reduziert werden, verbleiben die Spaltprodukte in der Halogensalzform und werden mit Halogensalzschmelzen aus dem flüssigen Uran extrahiert. [22]

engl.: slagging of fission products

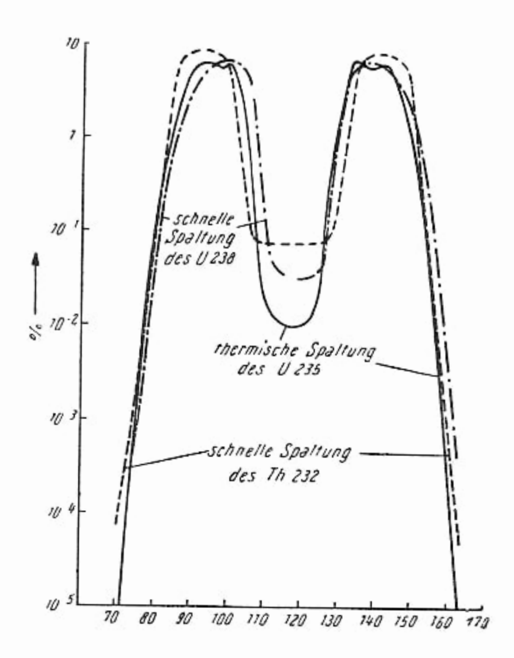
franz.: séparation, précipitation des produits de fission

Lit.: s. Karbidausschlackung.

Spaltprodukte nennt man die Kerne, welche als Bruchstücke bei der Kernspaltung auftreten, und deren weitere Abkömmlinge. Die Spaltung eines schweren Kerns erfolgt durchaus nicht stets in derselben Weise, sondern auf sehr viele verschiedene Arten, so daß vielerlei verschiedene S. auftreten, deren Zahl dadurch noch außerordentlich wächst, daß sie alle hoch β-radioaktiv sind und in Zerfallsreihen, die bis zu sieben Glieder haben, erst allmählich in stabile Endprodukte übergehen. Sehr genau sind die S. des Urankerns $^{235}_{92}U$ untersucht. Hier sind über 200 S. gefunden worden, von denen die große Mehrzahl radioaktiv ist. Die Ver-

Spaltprodukte

teilungskurve der S. reicht von der Massenzahl 70 bis zur Massenzahl 160 und zeigt zwei ausgeprägte Ma-



xima bei den Massenzahlen 95 („leichte“ S.) und 140 („schwere“ S.). Alle Elemente vom Zink (Ordnungszahl 30) bis zum Terbium (Ordnungszahl 65) sind in ihnen vertreten. Einige der wichtigsten sind in der Tabelle auf S. 376 aufgeführt:

Unter den S.n gibt es viele praktisch wertvolle radioaktive Stoffe, die aus ihnen bereits industriell abgetrennt werden.

γ-Strahlung der S.

Ein Teil der S. und ihrer Folgeprodukte emittiert beim Zerfall γ-Strahlung.

Die mittlere Energie, die pro Spaltung durch die γ-Strahlung der S. emittiert wird, beträgt 6 MeV.

Die γ-Aktivität der S. in einem Reaktor sowie die Energie der Strahlung hängen ab von der Zeit, während der der Reaktor in Betrieb war, der Zeit, während der er abgeschaltet war, und der Leistung des Reaktors, s. Reaktorgifte.

Spaltprodukt		Anteil	Halbwertszeit	
Strontium	89	4,6 %	58 d	1. Maximum
Strontium	90	5 %	25 a	
Yttrium	91	5,9 %	57 d	
Zirkonium	95	6,4 %	65 d	
Ruthenium	103	3,7 %	42 d	
Xenon	133	6 %	5,3 d	2. Maximum
Cäsium	137	6 %	33 a	
Barium	140	6,1 %	12,8 d	
Cer	141	6 %	28 d	
Cer	144	5,3 %	275 d	
Praseodym	143	6 %	13,8 d	
Promethium	147	2,6 %	3,7 d	

Neutronenemission der S.

Bei manchen S.n wird das zu hohe Verhältnis von Neutronen zu Protonen durch die Emission von Neutronen ausgeglichen. Soweit spontan entstehende S. Neutronen emittieren, sind diese in den *prompten *Spaltungsneutronen enthalten. Wenn jedoch ein solcher Neutronen emittierender Kern erst über einen β-Zerfall eines anderen entsteht, erscheinen diese Neutronen mit der Halbwertszeit des Mutterkerns verspätet nach der Spaltung. Man nennt diese Neutronen „*verzögerte“ Neutronen (verspätete Neutronen wäre sinnvoller). Es sind bis heute sechs Gruppen verzögerter Neutronen isoliert. [1, 17]

engl.: fission products

franz.: produit de fission, espèces de fission
fragment de fission

Spaltproduktstrahlung, s. u. Strahlungsleistung der Spaltprodukte.
engl.: radiation of fission products
franz.: rayonnement (radiation) de produits de fission

Spaltquerschnitt, *Wirkungsquerschnitt f. Spaltung.
engl.: fission cross section
franz.: section efficace de fission

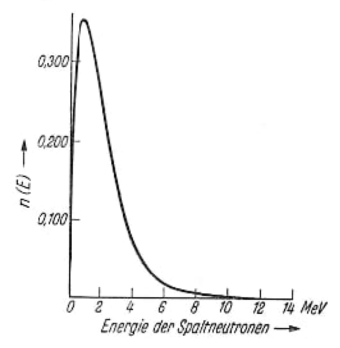
Spaltraum, syn. zu Spaltzone.

Spaltrohrantrieb, in der Reaktortechnik öfter angewandte elektromagnetische Antriebsform, bei der der Motor und der Anker durch ein nichtmagnetisches Rohr in dem dazwischen befindlichen Luftspalt getrennt sind. Die S.e ergeben eine besonders zuverlässige Abdichtung gegenüber teueren Materialien (Schwerwasser, Helium) und leichtflüchtigen radioaktiven Verseuchungen (Tritium, Xenon, Jod). Sie dienen entweder zur Übertragung von Drehbewegungen (z. B. bei Pumpenmotoren, Ventilantrieben, Turbinenkupplungen) oder von Längsverstellungen (z. B. bei Steuerstäben, Meßsonden, Experimenten). Beim ersten Typ handelt es sich in den meisten Fällen um gewöhnliche Induktionsmotoren mit etwas breiterem Spalt, beim zweiten kommen praktisch nur statische Magnetkupplungen mit einem rein magnetisch aufgehängten Anker innerhalb des Spaltrohres in Frage, bei denen der äußere Magnet entweder mechanisch verstellt wird oder aus einer Folge von feststehenden Polschuhen besteht, die nacheinander erregt werden und dabei den Anker mitnehmen (linearer Reluktanzmotor). Über praktische Erfahrungen mit S. von zweiten Typ ist bisher sehr wenig bekannt geworden. Der erste wird dagegen vor allem bei Schwerwasserreaktoren mit Erfolg angewandt. [9]
engl.: magnetic feed through drive mechanism
franz.: commande magnétique étanche,
moteur à induite étanche

Spaltspektrum heißt die Energieverteilung der *Spaltneutronen. Sie reicht im wesentlichen von 0,1 bis 10 MeV und ist darstellbar durch die Formel

$$f(E) = 0{,}484 \cdot e^{-E} \cdot \sin\sqrt{2\,E}\,,$$

wobei $f(E)$ die Zahl der Spaltneutronen je Energieintervall 1 ist, und zwar so normiert, daß $\int f(E)\,\mathrm{d}E = 1$ wird. E ist im MeV gemessen. An Stelle obiger Formel sind auch nähere Näherungsformeln in Gebrauch.



Energiespektrum der prompten Spalt-Neutronen

Die Energieverteilung der prompten Neutronen unterscheidet sich von der der verzögerten Neutronen. Bei sehr sorgfältigen Rechnungen (s. Reaktorgleichung) und entsprechenden Experimenten muß dies berücksichtigt werden. Der Unterschied wird gewöhnlich in Korrekturfaktoren ε_i angegeben, die durch Wägung der Spaltspektren mit dem jeweiligen Fluß bzw. *Einfluß gewonnen werden:

$$\varepsilon_i = \frac{\int\int \Phi^\dagger(E, \mathfrak{r})\; f_i(E)\; \Phi(E, \mathfrak{r}, t)\; \mathrm{d}E\, \mathrm{d}\mathfrak{r}}{\int\int \Phi^\dagger(E, \mathfrak{r})\; f_0(E)\; \Phi(E, \mathfrak{r}, t)\; \mathrm{d}E\, \mathrm{d}\mathfrak{r}}\,.$$

Bezeichnungen s. u. Einfluß. [7]
engl.: fission spectrum
franz.: spectre de fission

Spaltstoff, s. Brennstoff.

Spaltstoffelement, s. Brennstoffelement.

Spaltung, s. Kernspaltung.

Spaltung, schnelle, Kurzausdruck für Spaltung durch schnelle Neutronen. Im allgemeinen denkt man an eine Spaltung durch Neutronen über 1 MeV. [7]
engl.: fast fission
franz.: fission rapide

Spaltung, spontane. Sehr schwere Atomkerne werden nicht nur durch Neutronen, energiereiche geladene Geschoßteilchen oder energiereiche Strahlungsquanten gespalten (s. Kernspaltung), sondern spalten sich gelegentlich auch ohne äußeren Anlaß von selbst. Dies nennt man s. S. Die s. S. ist eine Art radioaktiver Zerfall. Sie befolgt das Zerfallsgesetz. Im allgemeinen wird sie allerdings durch andere Zerfallsarten weit übertroffen und nur bei einigen der äußersten Transurane tritt sie einigermaßen zum α-Zerfall in Konkurrenz, s. Isotopentabelle im Anhang zu Bd. I. Die s. S. wurde 1940 von Petrjak und Flerov am Uran entdeckt. Sie ist aber z. B. am Uran 238 so schwach, daß in 1 g dieser Substanz nur etwa alle 2 bis 3 min ein Kern durch s. S. zerfällt. Die Halbwertszeit, die sich hier aus der s. S. allein ergeben würde, ist $8 \cdot 10^{15}$ Jahre, also mehr als 10^6mal länger als die Halbwertszeit des α-Zerfalls. Bei den Transuranen wird aber mit steigender Ordnungszahl die s. S. viel stärker. Die stärkste s. S. wurde beobachtet beim Fermium 254 (Halbwertszeit 200 d gegen 3,2 h für den α-Zerfall), beim Californium 254 (Halbwertszeit 85 d) und beim Fermium 256 (Halbwertszeit 3,2 h). Bei den beiden letzteren konnte überhaupt kein α-Zerfall beobachtet werden. Bei den höchsten Transuranen dürfte also die s. S. den α-Zerfall übertreffen. [1]

engl.: spontaneous fission

franz.: fission spontanée

Lit.: W. Riezler, Kernphysik, 6. Aufl., Oldenbourg, München, 1958. – M. H. Studier u. J. R. Huizenga, Physic Rev. 96, 545 (1954).

Spaltung, thermische, Kurzausdruck für Spaltung durch thermische Neutronen. Die durch thermische Neutronen spaltbaren Kerne und ihre Wirkungsquerschnitte sind unter dem Stichwort spaltbar aufgeführt. [7]

engl.: thermal fission

franz.: fission thermique

Spaltzone, auch Spaltraum, ist derjenige Teil eines Reaktors, in dem die spaltbare Substanz (und der Moderator) untergebracht ist und eine Kettenreaktion so ablaufen kann, daß die Zahl der dort produzierten Neutronen größer ist als die Zahl der dort absorbierten.

Er umfaßt bei einem heterogenen Reaktor die Gesamtheit der Reaktorzellen.

Wird ein flüssiger Brennstoff umgepumpt, so gehören die Rohrleitungen nicht zur S. [7]

engl.: core

franz.: cœur du réacteur, réseau actif

Spaltzone, effektive, zur Vereinfachung der Randbedingungen aus der physikalischen Spaltzone abgeleiteter Ersatzbereich für die Spaltzone mit der Randbedingung Null. Die Verwendung der e. S. anstelle der tatsächlichen Randbedingungen kann immer nur relativ grobe Näherungen liefern, da es nicht möglich ist, die tatsächlichen Randeffekte durch einfache Extrapolationen auf eine veränderte Umrandung mit dem Randwert Null wirklich zu erfassen. Das gilt besonders auch hinsichtlich der am Reaktorrande vorhandenen Wirkung von Absorberstäben und dergl., die unter Umständen bereits außerhalb der extrapolierten Umrandung (bei guten Reflektoren) u. U. aber auch erst weiter innen, an der physikalischen Umrandung beginnt (bei vollständig absorbierenden Oberflächen). Der eigentliche Vorteil der e. S. tritt daher nur bei der Berechnung der inneren Flußverteilungen und damit zusammenhängender Effekte (Steuerkennlinie) in Erscheinung. [9]

engl.: effective core region

franz.: coeur effective

Spannungskorrosion. Schädigung oder Zerstörung eines metallischen Werkstückes durch die gleichzeitige Wirkung von mechanischen Spannungen (auch *Eigenspannungen) und bestimmten chemisch wirksamen Substanzen. Prüfung auf S. durch Schlaufenprobe, Gabelprobe, Hebelprobe, Flachstabprobe. [4]

engl.: stress corrosion

franz.: corrosion sous tension

Lit.: F. Tödt, Korrosion und Korrosionsschutz, de Gruyter, Berlin. 1955.

Speiselösung. Mit S. bezeichnet man diejenige Lösung, aus der mittels Extraktion durch eine zweite flüssige Phase Stoffe extrahiert werden sollen. Die Speiselösung muß zu diesem Zweck besonders präpariert werden. Bei manchen *Brennstoffaufbereitungsextraktions-

prozessen ist die Speiselösung mit der *Primärlösung identisch.

S. zur Plutonium-Uran-Extraktion im Purex-Prozeß. Während des Auflösungsvorgangs von Uran in Salpetersäure befindet sich ein kleiner Bruchteil des Urans in der wäßrigen Lösung im vierwertigen (IV), der größere Teil des Urans hingegen im sechswertigen (VI) Valenzzustand. Der Großteil des in Lösung gegangenen Plutoniums befindet sich im dreiwertigen (III) Valenzzustand. Die Auflösungsreaktion wird bei schwach saurem p_H der Lösung unterbrochen, um die Bildung von unlöslichen Pu(IV)-Polymeren zu verhindern. Die Pu(IV)-Polymere lassen sich nur sehr schwer auflösen und gehen bei der Reinigung der S. von Festverunreinigungen leicht in der Zentrifuge verloren. Nach erfolgter Trennung von Metall und Lösung wird das vierwertige Uran U(IV) in einer autokatalytischen Reaktion mittels Nitrat und der gleichzeitigen Anwesenheit von HNO_2-Spuren zum sechswertigen U(VI), das dreiwertige Pu(III) zum vierwertigen Pu(IV) oxydiert. Als Vorbereitung zur PU-U-Extraktion im Purex-Prozeß gibt man zu der Primärlösung Natriumnitrit hinzu, um das dreiwertige Pu(III) und das sechswertige Pu(VI) in den vierwertigen Zustand überzuführen. Damit die Reduktion des sechswertigen Pu(VI) möglichst vollständig verläuft, gibt man der Lösung Ferrisulfat hinzu. Mit dieser S. beschickt man anschließend die Extraktionskolonnen des Purex-Prozesses.

S. zur Plutonium-Uran-Extraktion im Redox-Prozeß. Als Vorbereitung zum Redox-Prozeß wird die Primärlösung mit $Na_2Cr_2O_7$ und $KMnO_4$ versetzt, um das vierwertige Pu(IV) quantitativ in den sechswertigen, durch Hexon extrahierbaren Zustand überzuführen. Eine Konzentration von 0,1 m. $Na_2Cr_2O_7$ wird in der S. auch in den Extraktionskolonnen aufrechterhalten.

S. zur Thorium-Uran-Extraktion im Thorex-Prozeß. Die Salpetersäurekonzentration in der Primärlösung beträgt 6 Mole/l, die Thoriumnitratkonzentration etwa 1 Mol/l. Die überschüssige HNO_3-Säure wird bis auf einen Bruchteil von etwa

0,2 Mol/l abgedampft, anschließend erhitzt man die Lösung im Autoklaven auf 150 °C um das Spaltprodukt Ruthenium in eine nicht extrahierbare Form überzuführen. Die Lösung wird anschließend mit Wasser verdünnt und den Extraktionskolonnen zugeführt.

S. zur Uran-Plutonium-Extraktion, bei Zirkon-eingehüllten bzw. legierten Brennstoffelementen. Zirkon-legierte oder eingehüllte Brennstoffelemente werden in 6 bis 10 molarer Flußsäure bei Siedetemperatur der Lösung chemisch aufgelöst. Anschließend erfolgt eine Oxydation des Urans in die sechswertige Valenzform mittels Chromationen und eine Überführung der F^--Ionen in die Komplexform mittels eines Überschusses an Al^{+++}-Ionen, Optimalisierung der Löslichkeit von Uran bei gleichzeitiger Anwesenheit von Zr-, Al-, H- und F-Ionen. Der Extraktionsprozeß wird mit 10prozentiger TBP-Lösung vorgenommen.

S.-Reinigung. Die Reinigung der S. von Festteilchen erfolgt mittels Zentrifugierung (Zentrifugalbeschleunigung ca. 1500 *g* [*g* Schwerebeschleunigung der Erde]). Die meisten Festverunreinigungen bestehen aus Silikaten. [22]

engl.: feed

franz.: solution primaire, solution brute,
liqueur primitive

Lit.: R. E. Blanco, Dissolution and Feed Adjustment, ORNL 57-4-84. – TID 7534 (s. Extraktionsprozesse).

Spektralfunktion, s. Fourier-Transformation.

Spektralserie. Die einzelnen Spektrallinien eines Linienspektrums lassen sich in S.n oder auch kurz „Serien" zusammenfassen. Jede S. besteht aus den Linien, die einen gemeinsamen Endterm haben, bei deren Entstehung also die strahlenden Atome von verschiedenen Ausgangszuständen in denselben Endzustand übergegangen sind. Die Frequenzen der einzelnen Linien einer S. können meist durch eine Serienformel dargestellt werden. Besonders einfach sind die Serienformeln bei den S.n des Wasserstoffatoms, der Lyman-Serie, der Balmer-Serie usw. Die höchste Frequenz einer Serie, an der sich die Linien häufen, heißt Seriengrenze. S.n gibt es nicht

nur bei optischen Spektren, sondern auch bei Röntgen-Spektren (K-Serie, L-Serie usw.). [1]
engl.: spectral series
franz.: série spectrale

Spektrometer (auch Spektroskop, Spektrograph), ein Apparat zur spektralen Zerlegung einer Strahlung und zur Aufnahme ihres *Spektrums. Die Kunst der spektralen Zerlegung selbst heißt Spektroskopie. Jede Strahlenart erfordert ihre eigenen Methoden der Spektroskopie und ihre eigenen S. Bei Wellenstrahlen wie Licht, Ultraviolett, Röntgen- und γ-Strahlen soll das S. ein Strahlengemisch nach der Wellenlänge bzw. nach der Energie der Quanten zerlegen (z. B. *Röntgen-Spektroskopie, *Gammastrahlspektrometer). Hierher gehört auch die nach ganz anderen Methoden arbeitende Mikrowellenspektroskopie oder Hochfrequenzspektroskopie. Bei Korpuskularstrahlen ist das Ziel der Spektroskopie die Trennung nach der Bewegungsenergie bzw. der Geschwindigkeit der im Strahl fliegenden Teilchen (z. B. *β-Strahlspektrometer). Der *Massenspektrograph dagegen soll die Teilchen nach ihrer verschiedenen Masse auftrennen. Näheres ist bei den angegebenen Spezialmethoden zu finden. [1]
engl.: spectrometer
franz.: spectromètre

Spektrum. Mit S. bezeichnet man primär die Anordnungen der Bestandteile eines Gemisches verschiedener Lichtstrahlungen oder anderer Wellenstrahlungen nach der Frequenz bzw. Wellenlänge und die Intensitätsverteilung in dieser Anordnung, wie sie z. B. bei der Zerlegung des Lichtes mittels eines Prismas oder mittels eines Beugungsgitters zum Ausdruck kommt. In weiterem Sinn versteht man unter S. aber auch die Anordnung und Intensitätsverteilung eines Gemisches im Bezug auf eine andere Größe. So spielen neben dem zuerst erwähnten Frequenzspektrum besonders noch das Energiespektrum und das Massenspektrum eine Rolle. Schon bei den Wellenstrahlungen kann das Frequenzspektrum auch als Energiespektrum der Strahlungsquanten aufgefaßt werden, da jeder Frequenz ν Quanten der Energie $h\,\nu$ zugeordnet sind. Weiterhin gibt es Energie-

spektren bei allen Arten von Korpuskularstrahlen. Massenspektren treten bei Korpuskularstrahlen auf, die Teilchen verschiedener Masse enthalten. Man spricht auch von einem Massenspektrum der Elementarteilchen und meint damit einfach die Gesamtheit aller diskreten Massenwerte, die bei den Elementarteilchen vorkommen.

Je nach der Art der Intensitätsverteilung im Spektrum unterscheidet man kontinuierliche Spektren und Linienspektren. Im kontinuierlichen S. kommen alle Frequenzen (bzw. Energien usw.) innerhalb eines bestimmten Bereichs vor und die Intensität bildet eine kontinuierliche Funktion der Frequenz. Das Linien-S. dagegen enthält nur ganz bestimmte, diskrete Frequenzwerte, die Spektrallinien (genauer: sehr schmale, voneinander getrennte Bereiche, die man meist durch diskrete Werte idealisieren kann). Zwischen dem kontinuierlichen und dem Linien-S. steht noch das Banden-S., das eigentlich auch ein Linien-S. ist, bei dem aber jeweils eine sehr große Zahl sehr dicht liegender Spektrallinien zu einer Gruppe zusammengehören, die man eine Bande nennt. Kontinuierliche S.n kommen vor: bei der Wärme- und Lichtstrahlung heißer fester und flüssiger Stoffe, sowie von Gasen sehr hoher Dichte (unter hohem Druck), im Anschluß an die Linien-Serien von Atomspektren (Grenzkontinuum), bei der Röntgenbremsstrahlung, bei der aus dem Kern stammenden β-Strahlung und meist bei der Neutronenstrahlung. Man spricht auch von dem kontinuierlichen Gesamtspektrum der elektromagnetischen Wellenstrahlungen, das von den Radiowellen bis zu den Röntgen- und γ-Strahlen reicht. Bandenspektren kommen vor bei der Strahlung von aus Molekülen bestehenden verdünnten Gasen (Molekül-S.).

Linienspektren kommen vor: bei der Strahlung von aus Atomen bestehenden (oder wenigstens einzelne Atome enthaltenden) verdünnten Gasen (Atom-S.), bei der charakteristischen Röntgenstrahlung, bei der Kern-γ-Strahlung und der aus ihr durch innere Umwandlung entstehenden β-Strahlung. Außerdem sind alle Massenspektren ihrer Natur nach Linien-S.

Nicht nur bei der Emission einer Strahlung tritt ein S. auf (E m i s s i o n s - S.), sondern auch bei der Absorption einer Strahlung in Materie (A b s o r p t i o n s - S.), das dann den Grad der Absorption in Funktion der Frequenz angibt. Auch ein Absorptions-S. kann ein kontinuierliches, ein Banden- oder ein Linien-S. sein.
Die Gesamtheit der Methoden, eine Strahlung spektral zu zerlegen, also ein S. einer Strahlung aufzunehmen, heißt S p e k t r o s k o p i e, die hierfür notwendigen Apparate heißen S p e k t r o s k o p e, *S p e k t r o m e t e r oder S p e k t r o g r a p h e n. [1]
engl.: spectrum
franz.: spectre

Spencer-Fano-Methode, ein Verfahren zur Berechnung der Neutronenbremsung in wasserstoffhaltigen Medien. [13]
engl.: method of Spencer and Fano
franz.: méthode de Spencer et Fano
Lit.: B. Davison, Neutron Transport Theory, Clarendon Press, Oxford, 1957.

Sperrschichtelement, 1. syn. zu Sperrschicht-*Photozelle, 2. elektrische Stromquelle, bei der elektrische Energie durch radioaktive Bestrahlung einer p,n-Halbleiterverbindung erzeugt wird (s. *Atombatterie). [16]
engl.: p-n junction converter
franz.: jonction p-n, cellule à couche d'arrêt

Spicken eines Reaktors, Einführung von Brennstoffelementen aus höher angereichertem Material in die Spaltzone des Reaktors. Ein S. kann im Reaktorentwurf vorgesehen sein, um eine möglichst konstante Flußverteilung (s. Flußabflachung) und günstiges Langzeitverhalten des Reaktors zu erzielen. [7]
engl.: spiking
franz.: spiking

Spickung, s. Radiumnadel.

Spiegel, magnetischer, s. Nachtrag.

Spiegelkerne nennt man ein Paar von Kernen, die vertauschte Protonen und Neutronenzahlen haben, z. B. Lithium $^{7}_{3}$Li mit drei Protonen und vier Neutronen und Beryllium $^{7}_{4}$Be mit vier Protonen und drei Neutronen. Ihrer Natur nach sind zwei S. immer isobar;

 ihre Protonen- und Neutronenzahl unterscheidet sich in der Regel um 1 (Kerne, deren Neutronenzahl um 2 kleiner ist als ihre Protonenzahl, sind hochgradig instabil). Wegen ihres sehr ähnlichen Aufbaus zeigen S. auch in ihren Eigenschaften viele Parallelen. [1]

engl.: mirror nuclei *franz.: noyau image*

Spin (oder Drall) ist eine Eigenschaft der Elementarteilchen. Man kann sie anschaulich dadurch beschreiben, daß man sich das Elementarteilchen als kleine Kugel denkt, die um eine durch das Zentrum gehende Achse rotiert. Allzu viel konkrete Bedeutung darf man diesem Bild aber nicht beimessen, denn allein die Vorstellung von Elementarteilchen endlicher Ausdehnung bereitet unüberwindliche Schwierigkeiten. Trotzdem ist das Modell vielfach sehr nützlich.

Ein tiefer liegendes Modell, das in neueren theoretischen Arbeiten auftaucht, ist das einer Zitterbewegung des Elementarteilchens. Es wurde erstmals von Schrödinger (1930) diskutiert. Neuere Arbeiten darüber stammen u. a. von Hönl, Papapetrou, Bopp (Pol-Dipol-Teilchen, s. Z. f. Phys. 112, 1939). Wenn man den Spin eines Fermions mathematisch in nicht-relativistischer Weise beschreiben will, so steht man vor der Aufgabe, eine Eigenschaft darzustellen, die nur zweier Werte fähig ist. (Denn der Spin eines Fermions ist $^1/_2$ und kann sich relativ zu einer vorgegebenen Richtung nur in zwei verschiedenen Weisen einstellen.) Man führt dazu die „Spinoperatoren" ein. Diese Operatoren sind Vektoroperatoren und werden durch zweireihige quadratische Matrizen beschrieben.

$$\vec{\sigma} = \sigma_x i + \sigma_y j + \sigma_z k \quad \text{mit} \quad \sigma_{x,y,z,}^2 = 1 \,.$$

Die z-Komponente dieser Operatoren hat die Eigenwerte $+1$ und -1 und drückt aus, daß die Einstellung des Spins in der z-Richtung gequantelt ist, und zwar parallel oder antiparallel zur positiven z-Richtung erfolgt. Die Wirkung des Operators

$$\sigma_z = \begin{pmatrix} +1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$$

auf die Spineigenfunktion $\alpha = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$ ergibt

$$\begin{pmatrix} +1 & 0 \\ 0 & -0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = +1 \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = +1 \cdot \alpha ,$$

dagegen auf die zweite Spineigenfunktion $\beta = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$

$$\begin{pmatrix} +1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = -1 \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = -1 \cdot \beta .$$

[7]

engl.: spin *franz.: spin*

Lit.: H. Bethe, Quantenmechanik der Ein- und Zweielektronenprobleme, Handbuch der Physik, Bd. 24, 1, 2. Aufl., Springer, Berlin, 1933. – D. J. Blochinzew, Grundlagen der Quantenmechanik, Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1953. – R. L. Rosenfeld, Theory of Nuclear Forces, North Holland Publishing Comp.

Spin, isotoper, der Sachverhalt und mathematische Formalismus zur Beschreibung der elektrischen Ladung des Nukleons in der Quantenmechanik. Beides gründet sich auf die Tatsache, daß Proton und Neutron und nur diese die Zustände des Elementarteilchens Nukleon sind. Die Aufgabe, ein Nukleon mathematisch als Proton oder als Neutron darzustellen, ist der Beschreibung des Spins weitgehend äquivalent. Man hat nur zu definieren, daß das Vorzeichen + ein Proton- — ein Neutron bedeutet (oder umgekehrt). Man führt damit vollkommen parallel zu den Spinoperatoren Ladungsoperatoren ein, die denselben Bau wie die Spinoperatoren haben. [7]

engl.: isotopic spin *franz.: spin isotopique*

Spinabhängigkeit der **Kernkräfte.** Die Kräfte zwischen Kernbausteinen sind abhängig von der Orientierung der jeweiligen Spins relativ zueinander. Den Unterschied sieht man am einfachsten, wenn man ein Zweiteilchensystem, z. B. zwei verschiedene Nukleonen, ein Proton und ein Neutron, betrachtet. Diese ziehen sich an und geben einen stabilen, stationären Zustand, wenn ihre Spins gleichgerichtet sind: das (Triplett-) Deuteron. Sind die Spins antiparallel, so gibt es keinen stationären Zustand. Das Singulett-Deuteron ist nicht stabil. Sein Energieniveau liegt oberhalb Null (Abstoßung der beiden Teilchen), allerdings nur sehr

wenig. Bei Streu- und Stoßexperimenten ist das um Null liegende Niveau feststellbar. Es gilt also für ein Proton-Neutron-System folgendes Schema (die Pfeile deuten den Spin an):

	Neutron ↑	Neutron ↓
Proton ↑	Anziehung	Abstoßung
Proton ↓	Abstoßung	Anziehung

Dieses verschiedenartige Verhalten der Nukleonen unter vollkommen gleichen äußeren Bedingungen und gleichen Quantenzahlen der Reaktionspartner, abgesehen von der Spinquantenzahl, ist eine Folge der besonderen Art der Kernkräfte, die nicht wie etwa die Coulombschen Kräfte der Elektrodynamik reine Zentralkräfte sind, sondern die wesentlich von den Spins der Teilchen abhängen. Diese Spinabhängigkeit wird in erster Linie durch die sog. Tensorkräfte bestimmt. Diese sind stark anziehend für parallele Spins, dagegen Null für antiparallele Spins. Die außerdem wirkenden Zentralkräfte sind von untergeordneter Bedeutung. [7]

engl.: spin dependence of nuclear forces

franz.: interdépendance des forces nucléaires et du spin

Lit.: H. A. Bethe u. Ph. Morrison, Elementary Nuclear Theory Wiley, New York, 1956. – G. Gamow u. C. L. Critchfield, The Theory of Atomic Nucleus and Nuclear Energy Sources, Clarendon Press, Oxford, 1949. – L. Rosenfeld, Theory of Nuclear Forces, North Holland Publishing Comp., Amsterdam, 1949. – J. H. Blatt u. V. Weißkopf, Theoretical Nuclear Physics, Wiley, New York, 1952.

Spindrehimpuls, im Gegensatz zum Bahndrehimpuls derjenige Teil des Drehimpulses eines atomaren Systems, der vom Spin der Elektronen und nicht von ihrem Umlauf herrührt. [1]

engl.: spin momentum

franz.: impulsion du spin

Spitzenlast, Spitzen(last)kraftwerk. Spitzenlast ist der die Grundlast übersteigende Leistungsbedarf eines elektrischen Versorgungsnetzes; sie ist stark zeitabhängig. Ein Spitzenlastwerk muß in der Lage sein, diesen meistens stoßweise auftretenden Leistungsbedarf wirt-

schaftlich zu decken. Dies ist z. B. dann der Fall, wenn die Stromerzeugungskosten des Werkes im wesentlichen durch die Brennstoffkosten bestimmt sind. Die Planung eines Atomkraftwerks, das als Spitzenlastwerk eingesetzt werden soll, muß bestrebt sein, möglichst niedere Anlagekosten zu erreichen. Höhere Brennstoffkosten fallen hier nicht so stark ins Gewicht. [21]
engl.: peak load, bzw. *peak load station*
franz.: puissance de pointe, bzw. *centrale de pointe*

Spitzenmikroskop. Das S. von E. W. Müller kann sowohl als *Elektronenmikroskop wie auch, z. B. mit Protonen oder Helium-Ionen, als Ionenmikroskop betrieben werden. In beiden Fällen werden die geladenen Teilchen in unmittelbarer Umgebung einer äußerst feinen Metallspitze durch das dort herrschende sehr starke Feld so hoch beschleunigt, daß sie praktisch radial geradeaus fliegen und – ganz ohne weitere elektronenoptische Hilfsmittel – auf einem Leuchtschirm irgendwelche Inhomogenitäten der Oberfläche der Metallspitze in sehr hoher Vergrößerung abbilden. Die Auflösung des S. ist die höchste, die sich bis heute mit irgend einer Art von Mikroskop erzielen läßt, und erreicht beim Ionen-S. etwa 3 Å. Hiermit läßt sich bereits die atomare Struktur der Metallspitze erkennen. [1]
Lit.: Journ. Appl. Phys. Bd. 28, S. 1, 1957.

Spitzenzähler, eine in neuerer Zeit nur noch selten benutzte Bauform eines *Zählrohres. An die Stelle des üblicherweise in Geiger-Müller-Zählrohren als Anode benutzten Drahtes tritt eine scharfe Metallspitze. Die Bauform ist sehr störanfällig, weil sehr kleine Spitzen ihren Radius infolge verschiedener Einflüsse ändern. Damit ändern sich die Betriebsbedingungen und die Nachweisempfindlichkeit. Statt des Spitzenzählers wird heutzutage meist ein Glockenzählrohr benutzt. [6]
engl.: point counter (tube)
franz.: compteur à pointe, tube compteur à pointe

Springfields, Standort der Anlagen der britischen Atomenergiebehörde (UKAEA) zur Herstellung nuklear reinen Urans aus Uranerz. Betrieben für die Industrial Group der UKAEA durch Imperial Chemical Industries. [24]

Spritzguß, s. Druckguß.
engl.: die casting
franz.: moulage par injection, moulage sous pression

Spülgas, das Gas über der Lösung in einem homogenen Reaktor. Es besteht ursprünglich aus reinem Sauerstoff, zu dem dann die Gase aus der Lösung kommen. Durch besondere Pumpen wird das S. in Bewegung gehalten und am *Katalysatorbett vorbeigeführt, in dem das Knallgas verbrannt wird. [19]
engl.: sweep gas
franz.: balayage par gaz, gaz de ventilation

SRE (Sodium Reactor Experiment). Standort: Santa Susana Mts. (bei Los Angeles), Cal., USA, ist ein Graphit-moderierter, *Natrium-gekühlter, thermischer, heterogener Versuchsreaktor mit auf 2,8 % angereichertem Uran als Brennstoff. (Vorgesehen sind später auch andere Spaltstoffe wie z. B. U-233-Thorium-Legierung zum thermischen Brüten.) Mit SRE wird der Versuch unternommen, Kühlmitteltemperaturen von 515 (später bis zu 650) °C zu erreichen, um in der angeschlossenen Dampfkraftanlage gute thermische Wirkungsgrade zu bekommen. Die Natriumkühlung (ebenso die Na-K-Kühlung) hat neben der erreichbaren hohen Temperatur noch folgende Charakteristika:
1. Na hat zwar kleinere spezifische Wärme, jedoch bedeutend bessere Wärmeübergangs- und Wärmeleiteigenschaften als Wasser. Bei geometrisch kleinen Anlagen können große Wärmemengen abgeführt werden.
2. Die Betriebsbedingungen sind ähnlich wie beim Wasser, jedoch ohne Druckanwendung im System. Fehlende Druckbehälter im Reaktor bedeuten erhöhte Sicherheit.
3. Na zeigt geringe chemische Aktivität gegenüber den Strukturmaterialien bei Temperaturen bis etwa 700 °C (abhängig vom O-Gehalt des Na), keine Aktivität gegenüber Uran.
Dem stehen jedoch zwei schlechte Eigenschaften gegenüber:
1. Na reagiert sehr lebhaft mit dem Sauerstoff der Luft und des Wassers,
2. unter Neutronenbestrahlung wird Na stark radioaktiv (^{23}Na (n, γ) ^{24}Mg, Halbwertszeit 15 h).

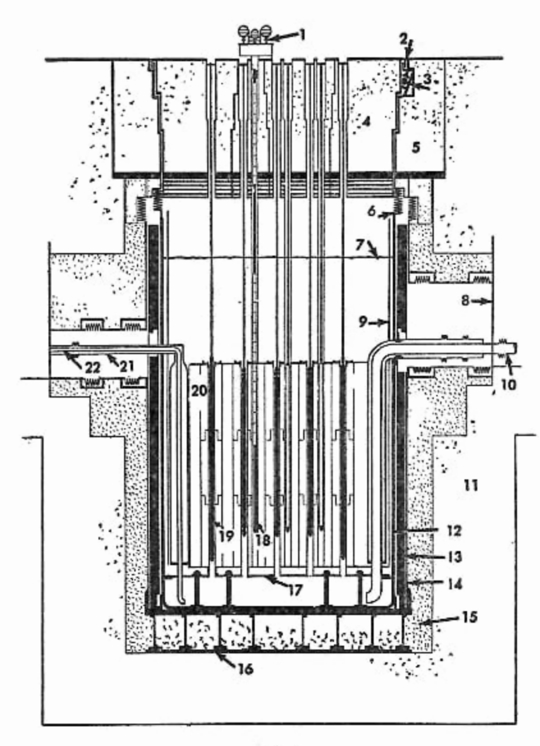


Abb. 1 a

Punkt 1 erfordert scharfe Trennung des Na von Luft und Wasser, auch im Schadensfall, wegen 2 muß der gesamte Primärkreislauf abgeschirmt sein. Ein weiterer Nachteil ist die Porosität des Graphits; er wirkt auf flüssiges Na wie ein Schwamm, zum Schutze ist er daher mit einer Zirkonhülle umgeben. Eine weitere Schwierigkeit reaktorphysikalischer Natur liegt darin, daß die Na-Kühlung einen positiven Temperaturkoeffizienten mit sich bringt, d. h. der Reaktor ist nicht mehr selbststabilisierend.

Abb. 1 zeigt die Spaltzone des Reaktors. Sie besteht aus 6-eckigen, prismatischen Graphitstäben (Abb. 2)

SRE von 28 cm Durchmesser, angeordnet zu einem regulären 12-Eck von 1,8 m Durchmesser und 1,8 m Höhe. Etwa 57 der inneren Blöcke sind von Zirkoniumrohren

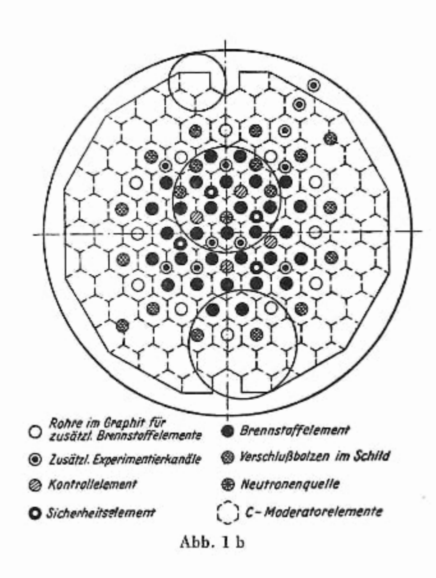


Abb. 1 b

durchbohrt, in 43 davon hängen Brennstoffelemente, die durch von unten nach oben strömendes Natrium gekühlt werden. Zwischen den Blöcken befinden sich weitere 17 Zirkoniumrohre, von denen acht Regelorgane und Sicherheitselemente aufnehmen, die übrigen dienen zu Experimentierzwecken. Ein Brennstoffelement (Länge 1,8 m) zeigt Abb. 3. Sieben Stahlrohre von 19 mm äußerem Durchmesser, 0,25 mm Wandstärke sind in der Regel zu einem Bündel zusammengefaßt. Gegenseitiges Berühren wird durch um die einzelnen Rohre gewickelte 2,3 mm starke Drahtspiralen verhindert. In jedem Stahlrohr stecken 12 Uranbolzen, Gesamtgewicht etwa 8,3 kg, die Zwischenräume zwischen Bolzen und Rohrwand sind mit NaK als Wärmeübertragungsmedium ausgefüllt. Der ganze

Graphitblock ruht auf einem Stahlgitter in einem Stahltank von 3,35 m Durchmesser, 5,8 m Höhe und 39 mm Wandstärke. Eine 14 cm starke Gußstahl-

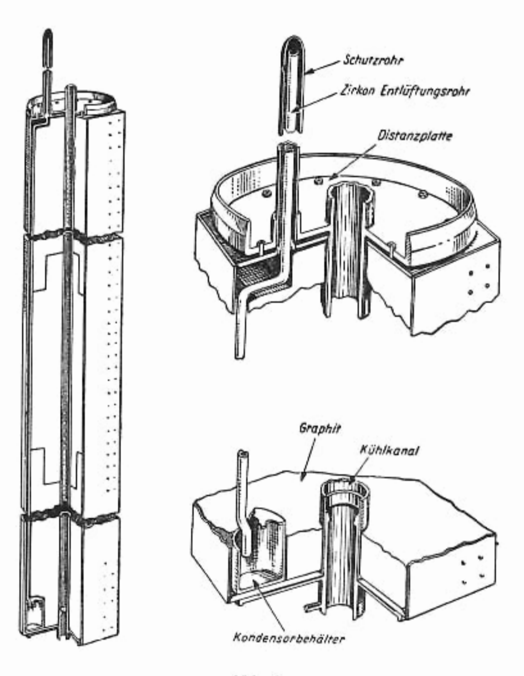


Abb. 2

schicht bildet den thermischen Schild. Ein zweiter, 6,4 mm starker Stahltank, weitere 30 cm thermische Isolationsschicht, sowie ein dritter, 6,4 mm starker Tank aus Kohlenstoffstahl umgeben den Reaktorkern, um eine möglichst große Sicherheit gegen ausfließendes Na zu gewährleisten. Die ganze Anordnung ist in einer betonierten Grube (Wandstärke 90 cm) untergebracht. Die Kontroll- und Sicherheitselemente bestehen aus einer Anzahl übereinander geschobener Zylinder aus Bor-Nickel-Stahl, die teleskopartig aus-

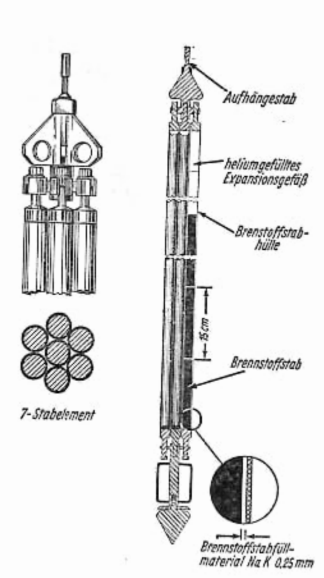

Aufhängestab
heliumgefülltes Expansionsgefäß
Brenstoffstab-hülle
15 cm
Brennstoffstab
7-Stabelement
Brennstoffstabfüll-material Na K 0,25 mm

Abb. 3

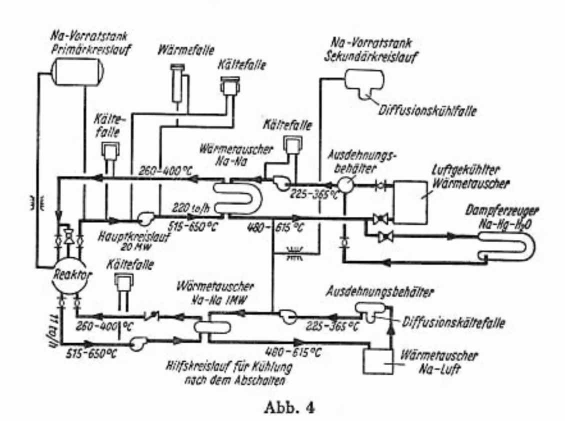

Na-Vorratstank Primärkreislauf
Wärmefalle
Kältefalle
Na-Vorratstank Sekundärkreislauf
Diffusionskühlfalle
Kälte-falle
Kältefalle
Wärmetauscher Na-Na
Ausdehnungs-behälter
Luftgekühlter Wärmetauscher
260-400 °C
225-365 °C
220 to/h
515-650 °C
480-615 °C
Dampferzeuger Na-Hg-H₂O
Hauptkreislauf 20 MW
Reaktor
Kältefalle
Wärmetauscher Na-Na 1MW
Ausdehnungsbehälter
Diffusionskältefalle
11 to/h
260-400 °C
225-365 °C
515-650 °C
480-615 °C
Wärmetauscher Na-Luft
Hilfskreislauf für Kühlung nach dem Abschalten

Abb. 4

und eingefahren werden können. Abb. 4 vermittelt das Fließbild der Anlage. Um eine Verseuchung des Dampferzeugers durch das aktive Na des primären Kühlkreislaufes zu vermeiden, wird ein Na-Zwischenkreislauf eingeschaltet. Auch mit diesem wird jedoch nicht direkt Dampf erzeugt. Um unter allen Umständen ein Berühren von Na und Wasser zu vermeiden, sind die Rohre des Dampferzeugers doppelwandig gebaut und die ringförmigen Spalten zwischen Wasser innen und Na außen mit Quecksilber gefüllt. Die Temperatur des erzeugten Dampfes beträgt 455 °C, der Druck 56 at; Leistung: Wärme 20 MW, elektrische 6 MW, Gesamtwirkungsgrad der Anlage 28,6 %. Fällt die Dampferzeugungsanlage aus, so wird der Na-Zwischenkreislauf in einem separaten Wärmetauscher mit Luft gekühlt. Ein Na-Hilfskreislauf übernimmt bei Versagen der Hauptkühlung den Wärmeabtransport und gibt sie über einen weiteren Na-Kreislauf an die Atmosphäre ab. Den Na-Kreisläufen sind mehrere kontinuierlich arbeitende Reinigungssysteme angeschlossen, um auch die geringsten Verunreinigungen zu beseitigen. Neben Kältefallen zur Gasdiffusion wird in sog. Wärmefallen, ähnlich wie bei Hochvakuumröhren der Nachrichtentechnik, das Prinzip des Getterns, d. h. Bindung kleinster Gasreste an Metalle, angewandt. Das flüssige Natrium wird mittels mechanischer Kreiselpumpen umgepumpt, die lediglich bezüglich ihrer Dichtung von den sonst üblichen abweichen. Als äußere Dichtung dient eine Kältefalle, in der evtl. auslaufendes flüssiges Na zu einer selbstdichtenden Na-Schicht eingefroren wird. An den Stellen, die mit Na nicht gekühlt werden können, ist als Kühlmittel die organische Substanz Tetralin (Siedepunkt 207 °C) verwendet. Es zeigt keine Reaktion mit Na und dient auch zur Dichtung. Zwei getrennte Gassysteme, He und N_2, dienen zu Schutz- und Dichtungszwecken im System sowie an einigen Stellen zur Kühlung, z. B. der Regelelemente. Weitere Daten s. Reaktortabelle im Anhang. [25]

Lit.: C. Stavy, Peaceful Uses of Atomic Energy, Bd. 3, S. 98, Genf, 1955. – W. E. Parkins, Peaceful Uses of Atomic Energy, Bd. 3, S. 295, Genf, 1955. W. E. Parkins u. A. C. Werden, SRE-Sodium Reactor Experiment, Atomics International, Canoga Park, Cal., Nov. 1956. – F. E. Faris et al., Peaceful Uses of Atomic Energy, P/452, Genf, 1958.

Stabilität der **Kerne.** Jeder Atomkern (s. Kern und Kernbau) ist aus Protonen und Neutronen aufgebaut. Für ganz leichte Kerne liegt das Verhältnis von Protonen zu Neutronen, bei welchem der Kern ein Minimum von Energie besitzt und deshalb stabil ist, stets sehr nahe bei 1 : 1. Für schwerere Kerne verschiebt sich das Verhältnis immer mehr zugunsten der Neutronen, da die C o u l o m b sche Abstoßung der Protonen dem Erreichen des Energieminimums entgegenwirkt, und erreicht bei den schwersten Kernen etwa 1 : 1,6.

Enthält ein Kern mehr Protonen als seinem stabilen Verhältnis entspricht, so hat er das Bestreben, eines seiner Protonen unter Aussendung eines Positrons in ein Neutron zu verwandeln; enthält er zu viele Neutronen, so verwandelt er umgekehrt ein Neutron in ein Proton unter Aussendung eines Elektrons. In beiden Fällen ist der Kern radioaktiv; im ersten zeigt er Prositronenzerfall (oder auch K-Einfang), im zweiten **β-Zerfall.**

So einfach liegen die Dinge jedoch nur bei Kernen mit ungerader Massenzahl, bei denen also entweder die Protonen- oder Neutronenzahl ungerade ist und die jeweils andere gerade, was auch nach einer β- oder Positronenumwandlung so bleibt.

Kerne mit gerader Massenzahl können dagegen entweder „gerade-gerade“ oder „ungerade-ungerade“ zusammengesetzt sein. Die letzteren liegen, da sich sowohl Protonen als Neutronen gerne zu Paaren zusammentun, „Zweier-Schalen“ bilden, energetisch ungünstiger. Dadurch wird es möglich, daß ein „gerade-gerade“-Kern stabil ist, obwohl ein benachbarter „gerade-gerade“-Kern derselben Massenzahl – also ein Isobar – eine niedrigere Energie hat, einfach weil er bei einer radioaktiven Umwandlung zunächst in den energetisch ungünstigeren „ungerade-ungerade“-Kern übergehen müßte. So kommen oft zwei oder sogar drei stabile Isobare zustande, die jedoch stets um z w e i Einheiten der Ordnungszahl (Protonenzahl) auseinanderliegen (s. Isobarensätze).

Im ganzen gibt es etwa 275 stabile Kerne, wobei es

aber nicht ganz sicher ist, ob nicht einige von diesen in Wirklichkeit radioaktiv sind mit einer so langen Halbwertszeit, daß ihre Radioaktivität bis jetzt der Beobachtung entging. [1]
engl.: nuclear stability
franz.: stabilité nucléaire
Lit.: W. Riezler, Kernphysik, 6. Aufl., Oldenbourg, München, 1958.

Stabilität, inhärente, eines Reaktors gegenüber bestimmten Zustandsänderungen bedeutet, daß die Reaktivität des Reaktors bei der betreffenden Zustandsänderung, z. B. Auslaufen oder Sieden des Kühlmittels, abnimmt. Die i. S. ist vor allem hinsichtlich der Sicherheit der Anlage erwünscht, bezüglich der Einhaltung bestimmter Regelaufgaben, insbes. bei der Dampfdruckregelung, kann sie jedoch auch störend wirken. In der Praxis ist daher häufig eine möglichst große Unabhängigkeit von derartigen Zustandsänderungen, d. h. also eine inhärente Indifferenz, der i. S. vorzuziehen. [9]
engl.: inherent stability
franz.: stabilité inhérente
Lit.: The Reactor Handbook, Vol. 2, Engineering, S. 552, McGraw-Hill, New York, 1955.

Stabstandsanzeiger zeigen in Reaktoranlagen die genaue Stellung der Regelungsstäbe im Reaktor an. Meist wird der Meßwert von der Stelle, an der die Bewegung des Regelstabes hervorgerufen wird, durch Fernmessung zum Steuerstand des Reaktors übertragen und dort angezeigt. Häufig erfolgt automatische Umrechnung in „Prozent Reaktivität“. [6]
engl.: position indicator
franz.: indicateur de position

Stahl, Bezeichnung für alles ohne Nachbehandlung schmiedbare *Eisen. Je nach dem Herstellungsverfahren unterscheidet man Bessemer-, Thomas-, Siemens-Martin-, Elektro- und Tiegelstahl. Fast immer enthält der S. außer den Legierungselementen noch kleine Beimengungen von Mangan, Silizium, Phosphor, Schwefel und Stickstoff.
Kohlenstoffstähle enthalten bis zu etwa 1,6 % C. Sie sind härtbar; die Härtung erfolgt durch

Glühen im Zustandsgebiet des homogenen Austenits (*Gamma-Eisen) und anschließendes Abschrecken, wobei der Stahl durch *Martensitumwandlung eine große Härte erhält. Zu den Kohlenstoffstählen gehören die Baustähle, ferner Kesselbleche, Automatenstähle, unlegierte Federstähle, Seildrähte, Saitendrähte usw. und die Werkzeugstähle (Geräte aller Art, Matrizen, Gesenke, Hämmer, Sägen, Bohrer usw.).

Legierte Stähle können neben Kohlenstoff noch zahlreiche andere Legierungselemente enthalten (z. B. Mn, Cr, V, Mo, W, Ni, Co, Si). Die Legierungselemente beeinflussen u. a. das Zustandsgebiet des *Gamma-Eisens, so daß bei bestimmten Konzentrationen umwandlungsfreie S.e entstehen (d. h. Legierungen ohne Alpha-Gamma-Umwandlung). Umwandlungsfreie S.e (ferritisch mit kubisch raumzentrierter Kristallstruktur, austenitisch mit kubisch flächenzentrierter Kristallstruktur) sind nicht durch Martensitumwandlung härtbar, sie können jedoch aushärtbar (*Aushärtung) sein. Die austenitischen S.e sind im allgemeinen nicht ferromagnetisch. Ein Teil der Legierungszusätze bildet mit Kohlenstoff Sonderkarbide, die sich im allgemeinen durch große Härte auszeichnen.

Härtbare legierte S.e zeichnen sich gegenüber den Kohlenstoffstählen durch größere Durchhärtbarkeit aus; in der Regel haben sie auch bessere mechanische Eigenschaften. Legierte Werkzeugstähle besitzen neben einer großen Härte auch eine geringere Überhitzungsempfindlichkeit. Besonders der Schnellarbeitsstahl (z. B. 4 % Cr, 1,2 % V, 18 % W, 0,8 % C, Rest Fe), dessen Schnittleistung nur noch von den *Hartmetallen übertroffen wird, zeichnet sich durch seine gute Warmfestigkeit aus und gestattet Schnittgeschwindigkeiten, bei denen die Schneide sich bis zur dunklen Rotglut erhitzen darf (etwa 750 °C).

Korrosionsbeständige Stähle sind vor allem chromlegierte S.e (sowohl härtbare, als auch umwandlungsfreie ferritische Chromstähle), sowie umwandlungsfreie austenitische Chrom-Nickel-S.e (z. B. 18 % Cr, 8 % Ni, 0,1 % C, Rest Fe), die unter der Bezeichnung 18/8-S. oder auch unter der geschützten

Werksbezeichnung V2A bekannt sind. Ein 18/8-S. mit 2,5–3,5 % Mo ist der unter der Werksbezeichnung V4A bekannte besonders säurebeständige S.

Bei der Verwendung von S. im Reaktorbau ist auf das Absorptionsvermögen und die möglichen Kernreaktionen der Legierungselemente zu achten. [4]

engl.: steel

franz.: acier

Lit.: E. Houdremont, Handbuch der Sonderstahlkunde, 3. Aufl., Springer, Berlin, 1956. – Werkstoffhandbuch Stahl und Eisen, 3. Aufl., Stahleisen, Düsseldorf, 1953.

Stammbaum, radioaktiver, s. Zerfallsreihen, radioaktive.

Standard-Mensch, svw. „Durchschnittsmensch".

Tabelle 1.

Durchschnittliche chemische Zusammensetzung des Körpers eines Standard-Menschen

Element	Gewicht in %	ungef. Gesamtanteil in einem 70 kg schweren Menschen (g)
Sauerstoff (O)	65,0	45 500
Kohlenstoff (C)	18,0	12 600
Wasserstoff (H)	10,0	7 000
Stickstoff (N)	3,0	2 100
Kalzium (Ca)	1,5	1 050
Phosphor (P)	1,0	700
Schwefel (S)	0,25	175
Kalium (K)	0,2	140
Natrium (N)	0,15	105
Chlor (Cl)	0,15	105
Magnesium (Mg)	0,05	35
Eisen (Fe)	0,006	4
Kupfer (Cu)	0,0002	0,1
Mangan (Mn)	0,00003	0,02
Jod (J)	0,00004	0,03

Seine charakteristischen Daten sind in den nachfolgenden vier Übersichten zusammengestellt.

engl.: standard man *franz.: l'homme standard*

Tabelle 2.

Charakteristische Daten des Standard-Menschen

	cm^3/d
Wasseraufnahme mit der Nahrung	700
„ als Flüssigkeit	1500
Oxydationswasser	300
Gesamtwasserverbrauch/Tag	2500
Wasserausscheidung durch Schweiß	500
„ „ Atmung	400
„ „ Faeces	100
„ „ Urin	1500
Gesamte Wasserausscheidung/Tag	2500
Luftmenge, eingeatmet:	
8stündiger Arbeitstag	10^7
in 16 Stunden außerhalb der täglichen Arbeitszeit	10^7
Gesamtmenge Luft eingeatmet/Tag	$2 \cdot 10^7$
CO_2 in den Lungen	5,5 %
Austauschflächen der Lungen	50 m^2
Oberfläche der oberen Atmungswege	20 m^2
Gesamtoberfläche der Atmungswege	70 m^2
Gesamtwassermenge im Körper	50 kg

Tabelle 3.

Besonderheiten der Atmungswege

	leicht lösliche Verbindungen	andere Verbindungen
ausgeatmet	25 %	25 %
abgelagert in den oberen Atmungswegen	50 %	50 %
abgelagert in den Lungen (untere Atmungswege)	25 %	25 %

Tabelle 4.

Masse und effektiver Radius von Organen des Körpers des Standard-Menschen

Gewebe oder Organe	Masse m (g)	Anteil %	Eff. Radius (cm)
Gesamtkörper	70 000	100	30
Muskeln	30 000	43	30
Haut u. Unterhaut	6 100	8,7	0,1
Fett	10 000	14	20
Skelett ohn. Knochenmark	7 000	10	5
Knochenmark	3 000	4,2	
Blut	5 400	7,7	
Magen-Darm-Kanal	2 000	2,9	30
Inh. d. Magen-Darm-Kan.	1 635		5
Leber	1 700	2,4	10
Gehirn	1 500	2,1	
Lungen (2)	1 000	1,4	30
Lymphatisches Gewebe	700	1,0	
Nieren (2)	300	0,43	7
Herz	300	0,43	
Milz	150	0,21	7
Harnblase	150	0,21	
Pankreas	70	0,10	
Speicheldrüsen (6)	50	0,071	
Hoden (2)	40	0,057	
Rückenmark	30	0,043	
Augen (2)	30	0,043	
Schilddrüse	20	0,029	3
Zähne	20	0,029	
Prostata	20	0,029	
Nebennieren	20	0,029	
Thymus	10	0,014	
Verschiedenes (Blutgefäße, Knorpel, Nerven)	390	0,56	

[28]

Standrohre, s. Nachtrag.

Standversuch. S.e dienen der Gewinnung von Kennwerten, welche das Verhalten eines Werkstoffes bei langdauernder, ruhender Belastung charakterisieren. Die Dauerstandfestigkeit ist die maximale

Belastung (in kg/mm², bezogen auf den Ausgangsquerschnitt), für welche das Kriechen noch zum Stillstand kommt und auch nach unendlich langer Zeit kein Bruch eintritt. Unter Zeitstandfestigkeit versteht man die auf den Ausgangsquerschnitt bezogene, ruhende Belastung, die nach einer bestimmten Versuchszeit (z. B. nach 10 000 Stunden) zum Bruch führt. Unter Kriechgeschwindigkeitsgrenze versteht man die Belastung, die innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls eine bestimmte Kriechgeschwindigkeit hervorruft (z. B. die sog. DVM-Kriechgrenze für Stahl und Stahlguß: Kriechgeschwindigkeit zwischen der 25. und der 35. Stunde maximal $10 \cdot 10^{-4}$ % pro Stunde bei einer bleibenden Gesamtdehnung von maximal 0,2 % nach der 45. Stunde). [4]
engl.: creep test
franz.: essai de fluage
Lit.: DIN 50 119.

Stanton-Zahl (St), s. Ähnlichkeitsgesetze der Wärmeübertragung.
engl.: Stanton-No.
franz.: nombre de Stanton

Start, auch Anfahren, Zusammenfassung aller Maßnahmen und Wirkungen, die normalerweise bei der Wiederinbetriebnahme eines vollständig abgeschalteten, nicht geregelten Reaktors durchlaufen werden. Umschaltungen von Sollwerten eines Regelsystems zwischen extrem kleinen Anfangswerten und Normallast, wie sie beim automatischen Startsystem möglich sind, werden als *Hochstellen bezeichnet.
Man unterscheidet nach dem instrumentellen Aufwand und dem Wahrscheinlichkeitsgrad von Startzwischenfällen zwischen einem primären S. *(initial start-up)* und dem gewöhnlichen Routinestart *(normal start-up)*. *Primäre S.* erfordern wegen der geringen Anfangsneutronenflüsse häufig zusätzliche Neutronenquellen, besonders empfindliche Meßgeräte und besondere Maßnahmen zur Verringerung der durchschnittlichen *Trimmgeschwindigkeit (schrittweise Trimmverstellungen, Bewegung einzelner *Trimmorgane für sich allein). Sie werden deshalb meistens im Handbetrieb von be-

sonders geschulten Fachleuten durchgeführt. Bei Reaktoren mit natürlichen oder künstlichen Photoneutronenquellen entfällt ein primärer St. nach längerer Betriebszeit mit normaler Leistung meistens ganz, so daß hier im allgemeinen nur vorübergehende Hilfseinrichtungen vorgesehen werden. Andernfalls müssen die hierfür benötigten Meßgeräte zumeist mit besonderen Mechanismen aus dem Bereich hohen Neutronenflusses herausgezogen werden, bevor die oberen Leistungsbereiche erreicht werden. Der Routinestart wird besonders einfach, wenn der gesamte in Frage kommende Neutronenflußbereich mit einem einzigen Meßgerät (Ionenstromkammer) überstrichen werden kann (bei Schwerwasserreaktoren). Im allgemeinen sind jedoch besondere Sicherheitsschaltungen für den reibungslosen Übergang zwischen den verschiedenen Meßbereichen bzw. -geräten erforderlich. Bei den *Steuerorganen werden entsprechende Umschaltungen normalerweise nicht durchgeführt, so daß hier die für einen sicheren Startverlauf ermittelte *Trimmgeschwindigkeit für den ganzen Bereich gültig ist. [9]
engl.: start-up
franz.: démarrage, mise en route
Lit.: s. Absorberstab.

Startperiode, kleinste beim normalen *Start des Reaktors zulässige Reaktorperiode. Die S. muß wegen der schnellen Periodenänderungen bei großen Reaktivitäten erheblich größer sein als die *Grenzperiode, bei der gerade noch kein Schaden durch Temperaturüberschläge während der Dauer der Abschaltverzögerung eintreten kann. Das gilt besonders, wenn sich die Grenzperiode selbst infolge von Eichfaktoränderungen zwischen Neutronensignal und Maximaltemperatur nicht genau festlegen läßt. Die Zahlwerte für die reziproke S. liegen etwa zwischen 1 und 30 s, gegenüber etwa 0,1 bis 1 s bei der reziproken Grenzperiode. [9]
engl.: start-up period
franz.: période de démarrage
Lit.: M. A. Schultz, Control of Nuclear Reactors and Power Plants, McGraw-Hill, New York, 1955. – S. Glasstone, Principles of Nuclear Reactor Engineering, D. van Nostrand Comp., New York, 1955.

Startsystem, automatisches, Einrichtung zur auto-

matischen Steuerung des normalen *Startverlaufs, an Stelle des *Handstarts, der ein hohes Maß an Konzentration wegen der plötzlichen Übergänge zwischen langen Wartepausen und schnellen Steuereingriffen erfordert.
Das System dient nur zur Erleichterung der Bedienung, nicht zur Erhöhung der Sicherheit, für die besondere *Sicherheitssysteme verantwortlich sind. In allen zur Zeit bekannten a. St. werden deshalb die gleichen *Steuerorgane verwandt wie beim Handstart. Das a. St. hat zwei wesentliche Funktionen zu erfüllen: 1. Einhaltung einer bestimmten *Startperiode im Periodenbereich, 2. Verhinderung gefährlicher Leistungssteigerungen und Überschläge im Ausgleichsbereich.
Beim sog. halbautomatischen St. wird Aufgabe 2 wie beim Handstart einer automatischen Neutronenflußregelung übertragen, deren Sollwert bei Startbeginn einen niedrigen Maximalwert nicht überschreiten darf. Dieser kann erst nach dem Einsetzen der laufenden Regelung bis zur Vollast gesteigert werden. Über eine *Trimmnachfolgesteuerung wird automatisch die positive *Trimmung eingeschaltet, sobald der Regelstab wegen des zu kleinen Istwerts des Neutronenflusses bis zum Anschlag herausgefahren ist. Die Trimmbewegung wird erst wieder unterbrochen, wenn entweder der Regelstab über die Mittelstellung läuft, weil der Sollwert überschritten wurde, oder aber ein zusätzlicher Periodenschalter anspricht, weil die tatsächliche Periode unter die Sollperiode gefallen ist. Sobald danach die Periode wieder eine bestimmte Größe erreicht hat (sie kann nur ansteigen!), wird der Periodenschalter wieder geschlossen und die Periode durch erneute Trimmung wieder verkürzt. Auf diese Weise ergibt sich ein stetiges Pendeln um die Sollperiode bis das Regelsystem einsetzt und die Trimmung unterbricht.
Dieses an sich sehr einfache Startsystem erfordert Verriegelungen, die garantieren müssen, daß die Trimmnachfolgesteuerung für große Regelabweichungen nur bei kleinen Sollwerten und für große Sollwerte nur bei kleinen Regelabweichungen arbeitet. Völlig ohne Handumschaltungen (des Sollwertes) arbeiten Startsysteme, bei denen die Regelung nicht nach linearen, sondern

nach logarithmischen Leistungs- und Geschwindigkeitssignalen (Perioden) erfolgt. Im Prinzip handelt es sich immer um logarithmische Regelungen mit Periodenrückführung $[B(\mathrm{d} \ln \Phi/\mathrm{d}t)]$ parallel zum Istwertvergleich $(\ln \Phi_0 - \ln \Phi)$.
Abb. 1 zeigt das Prinzipschema, für das die Regel-

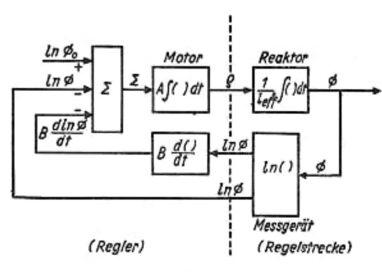


Abb. 1

gleichung (ohne verzögerte Neutronen) lautet:

$$\frac{\mathrm{d}^2 \ln \Phi}{\mathrm{d}t^2} = \frac{1}{l_{\mathrm{eff}}} \frac{\mathrm{d}\varrho}{\mathrm{d}t} = \frac{A}{l_{\mathrm{eff}}} \cdot \left(\ln \Phi_0 - \ln \Phi - B \frac{\mathrm{d} \ln \Phi}{\mathrm{d}t}\right). \quad (1)$$

Der Vorteil dieses Systems besteht in der Möglichkeit von „Pseudoabschaltungen", bei denen der Sollwert so tief gestellt wird, daß praktisch keine Wärmeleistung durch Spaltungen erzeugt wird, ohne daß die Reaktivitätskontrolle verloren geht. In diesem Fall spricht man jedoch besser nicht von Start und Abschalten, sondern von *Tief- und *Hochstellen. Bei kleinen relativen Auslenkungen geht (1) wegen

$$\ln \Phi_0 - \ln \Phi \approx \Phi_0 - \Phi \text{ und } \frac{\mathrm{d} \ln \Phi}{\mathrm{d}t} \approx \frac{1}{\Phi_0} \frac{\mathrm{d}(\Phi_0 - \Phi)}{\mathrm{d}t}$$

allmählich in die lineare Regelgleichung über. Der verschiedene Einfluß der verzögerten Neutronen läßt sich dabei grob durch geeignete Mittelwerte für die effektive Lebensdauer l_{eff} berücksichtigen, die sich bei langen Startverläufen verringert (s. Startverlauf).

Startsystem, automatisches

In der Praxis muß der direkte Regelantrieb mit Rücksicht auf den großen Steuerhub durch eine automatische Trimmnachfolgesteuerung ergänzt werden. Daraus folgt mit der Trimmgeschwindigkeit $\dot{\varrho}_s$ für eine überschlagsfreie Übergangsfunktion die Bedingung

$$\frac{3}{4} \frac{\dot{\varrho}_s}{l_{\text{eff}}} \cdot \frac{B^2}{(\ln \Phi_0 - \ln \Phi)} \gg 1 \qquad (2)$$

Eine weitere, im allgemeinen schärfere Bedingung für A und B folgt aus der maximal zulässigen Periode während des Startverlaufs. Meist liegen die beiden Eigenfrequenzen der Gl. (1) soweit auseinander, daß der Regelkreis (Abb. 1) angenähert als reines Verzögerungsglied 1. Ordnung mit einer Zeitkonstanten B aufgefaßt werden kann. Zwischen der maximalen logarithmischen Anfangsgeschwindigkeit (= reziproker Minimalperiode), der Konstanten B und dem maximalen Hub der Regelgröße $(\ln \Phi_0 - \ln \Phi)$ besteht dann gemäß Abb. 2 die Beziehung

$$\frac{\mathrm{d} \ln \Phi}{\mathrm{d}t} = \frac{\ln \Phi_0 - \ln \Phi(0)}{B} = \frac{1}{\text{Periode}} . \qquad (3)$$

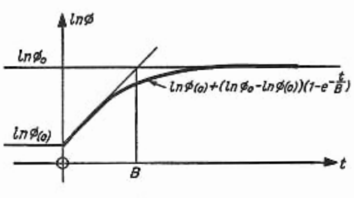


Abb. 2

Die Regelzeitkonstante B muß deshalb um etwa den maximalen Faktor $\ln(\Phi_0/\Phi(0))$ größer als die kleinste zulässige Startperiode gewählt werden. Zur Verbesserung der daraus folgenden kleinen Regelgeschwindigkeit bei kleinen Regelamplituden wurde z. B. vorgeschlagen, lineare Φ- oder $\mathrm{d}\Phi/\mathrm{d}t$-Signale additiv aufzuschalten, durch die die logarithmische Geschwindigkeitsgegenkopplung bei großen Leistungen teilweise kompensiert wird, oder B durch nichtlineare Verstärperkennlinien oder direkte Produkte bei kleinen Amplituden von

$(B \cdot \mathrm{d} \ln \Phi/\mathrm{d}t)$ oder $(\ln \Phi_0 - \ln \Phi)$ zu vermindern. Praktische Erfahrungen mit vollautomatischen Startsystemen und über die Beeinflussung der Regelgeschwindigkeit sind bisher nicht bekannt geworden. [9]

engl.: automatic start-up control system

franz.: appareillage de démarrage automatique

Lit.: M. A. Schultz, Control of Nuclear Reactors and Power Plants, McGraw-Hill, New York, 1955. – J. U. Koppel, H. Schultz, Journ. of Nucl. Energy, Vol. 3, p. 312, 1956.

Startverlauf, zeitlicher Ablauf der Neutronenflußänderungen während des Reaktorstarts, insbesondere bei einem bestimmten Reaktivitätssteuer- oder -regelprogramm. Der St. läßt sich einteilen in den Quellbereich, den Periodenbereich und den Ausgleichsbereich. Der Quellbereich umfaßt den größten Teil der Trimmzeit, der Periodenbereich den größten Teil des Neutronenflußanstiegs und der Ausgleichsbereich den Auslaufbereich in den beiden letzten Leistungsdekaden mit ständigen Reaktivitätskorrekturen.

Im Quellbereich gilt bei den üblichen Trimmgeschwindigkeiten ($\dot{\varrho} = 10^{-4} \ldots 10^{-5}\,\mathrm{sec}^{-1}$) zwischen der *Abschaltreaktivität am Anfang und etwa $\varrho = -\beta$ annähernd quasi stationäre *Quellverstärkung $\Phi/\Phi_0 \approx 1/\varrho$, während anschließend wegen der verzögerten Neutronen bis zu positiven Reaktivitäten der Größenordnung $1 \cdot 10^{-3}$ angenähert dieselbe Periode wie bei $\varrho = -\beta$ bestehen bleibt. Bis dahin ergibt sich somit nur ein relativ kleiner Neutronenflußanstieg auf das 10^{-1}- ... 10^{-2}-fache. In der nächsten Leistungsdekade vollzieht sich dann der Übergang zu wesentlich kürzeren Perioden, so daß nunmehr die Leistung schnell ansteigt und dabei im Periodenbereich von den Quellen praktisch unabhängig wird. Hält man nun beim Erreichen der vorgesehenen *Startperiode die Trimmbewegung der Steuerorgane an, dann stellt sich sehr schnell eine nur wenig größere konstante Periode ein, mit der die Leistung unbegrenzt ansteigen würde, wenn nicht im Ausgleichsbereich Gegenwirkungen einsetzen würden. Wegen der sehr verschiedenen Größen und Verzögerungen der Temperatureffekte läßt sich für den Ausgleichsbereich kein ähnlich

genereller Verlauf angeben wie bei den beiden anderen. Nur bei sehr großen und schnell eintretenden Temperatureffekten läuft die Leistung ohne merklichen *Überschlag in das Gebiet der *Temperaturstabilisierung ein, so daß anschließend nur noch eine positive Trimmung bis zum Erreichen der Solleistung erforderlich ist.

Im allgemeinen sind die Temperatureffekte so langsam, daß gefährliche Leistungsüberschläge auftreten, wenn nicht vorübergehende Reaktivitätsverminderungen vorgenommen werden, bis die Leistung annähernd konstant geworden ist. Anschließend sind dann wiederum positive Trimmungen nötig, um die langsam wachsenden Temperatur- und Vergiftungseffekte auszugleichen. Wegen der Schwierigkeiten, die beim Übergang vom Perioden- zum Ausgleichsbereich auftreten, wenn ganz bestimmte Leistungsverläufe vorgeschrieben werden (z. B. mit Rücksicht auf Temperaturspannungen), pflegt man zunächst einen praktisch leistungslosen Sollwert bei etwa $10^{-2} \ldots 10^{-3}$ der Vollast anzusteuern und erst danach die programmgemäße Leistungssteigerung durchzuführen. Die Auslösung der geeigneten Steuerbewegungen wird dabei meistens einer automatischen *Leistungsregelung übertragen, deren Sollwert anschließend in der vorgesehenen Weise geändert wird. Man beachte, daß für Regelungen im Anschluß an einen größeren Periodenbereich wegen des anderen Mischungsverhältnisses zwischen verzögerten und prompten Neutronen zunächst ein etwas abgewandelter *Frequenzgang gilt. Grob läßt sich der Effekt als eine Verkleinerung der effektiven Neutronenlebensdauer deuten, deren Größe bei den üblichen Regel- und Startverläufen von etwa 10^{-1} s auf rund $2 \cdot 10^{-2}$ s abfällt. [9]

engl.: start-up sequence

franz.: graphique de démarrage, comportement au démarrage

Lit.: M. A. Schultz, Control of Nuclear Reactors and Power Plants, McGraw-Hill, New York, 1955. – S. Glasstone, Principles of Nuclear Reactor Engineering, van Nostrand, New York, 1955.

Startzeit, normaler Zeitbedarf zur Durchführung eines vollständigen Starts eines Reaktors von Beginn der Trimmung bis zum Einsatz der normalen *Leistungsregelung bzw. -steuerung bei Vollast. Der Haupt-

anteil der S. entfällt auf den *Quellbereich des Startverlaufs, während der *Periodenbereich und der Ausgleichsbereich weniger ins Gewicht fallen. Bei den derzeitigen Reaktoren ergeben sich etwa folgende Zeiten: Quellbereich 10^2 bis 10^4 s, Schwellzeitbereich 20 bis 500 s, Ausgleichsbereich 10^2 bis 10^3 s, zusammen also ungefähr 200 bis 10^4 s bzw. 3 min bis 3 h. [9]
engl.: start-up time
franz.: temps de démarrage

Startzwischenfall, allgemein: alle Zwischenfälle bei falsch geleiteten Startoperationen; speziell: unbegrenzte Steigerung der Reaktivität mit der maximal möglichen positiven *Trimmgeschwindigkeit.
Die wichtigsten Ursachen eines allgemeinen St. sind a) Start ohne arbeitsfähiges *Sicherheitssystem, insbesondere Versagen der Neutronenflußmeßgeräte, b) plötzliche Reaktivitätsanstiege, z. B. beim Einlauf von zu kaltem Kühlmittel oder beim Zuschalten von größeren Volumina mit anderen Drücken, c) plötzliche Reaktivitätsänderungen bei Startbeginn auf dem Maximum eines vorhergehenden Vergiftungsanstiegs, d) plötzliche Strukturumlagerungen im Reaktor durch Erwärmung. – Zur Abwehr der meisten dieser Gefahren, insbesondere bei b), ist erforderlich, daß die Gegentrimmbewegungen nicht zu langsam sind.
Für den speziellen St. ergibt sich dagegen die genau entgegengesetzte Forderung nach möglichst kleiner Trimmgeschwindigkeit, da die Leistungen am Ende unkontrollierter Reaktivitätssteigerungen um so schneller ansteigen, je größer die Steuergeschwindigkeit ist.
Man unterscheidet verschiedene Gefahrenstufen nach der Zahl der zum Schutz des Reaktors ausreichenden *Stabilisierungen und Sicherungen.
Absolut sicher sind Starts, bei denen die gesamte Trimmung vom Temperatureffekt aufgefangen werden kann und die Trimmgeschwindigkeit so klein ist, daß ständig ein quasi stationäres Gleichgewicht zwischen beiden Effekten besteht. Die entsprechenden Geschwindigkeiten sind jedoch so klein $d\varrho/dt \approx 10^{-6}\,s^{-1}$, daß dieser Fall für die Praxis meistens ausscheidet. Außerdem muß der Trimmhub wegen erst später einsetzender Vergiftungs- und Abbrandeffekte in den meisten Fällen erheb-

lich größer sein, als dem Temperatureffekt der höchstzulässigen Temperaturen entspricht. Die meisten Starts müssen deshalb mit einem Sicherheitssignal beim Überschreiten der maximalen Leistung gesichert werden. Dann sind St. solange ausgeschlossen, als die Verzögerung der Temperatur gegenüber der Leistung wesentlich größer ist als die gesamte *Abschaltverzögerung beim Schnellschluß (0,2 bis 0,5 s). Da die relative Temperaturverzögerung bei einer konstanten Periode der Leistung monoton bis zu einem Maximalwert ansteigt, liegt die gerade noch zulässige Periode sicherlich unter dem Wert, der sich für einen plötzlichen Anstieg mit dieser Periode von einem dicht unter dem Signalpegel liegenden Anfangswert aus ergibt. Der Periodengrenzwert bestimmt seinerseits gemäß dem allgemeinen Startverlauf die noch zulässige Trimmgeschwindigkeit $\dot{\varrho}$ beim Start. Diese kann um so größer sein, je kleiner der Unterschied zwischen Ausgangs- und Endwert des Neutronenflusses und je länger die mittlere Lebensdauer der Neutronen ist. Grob gilt für $\dot{\varrho}$ bei thermischen Reaktoren mit natürlichem Uran $5 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{sec}^{-1}$ und bei thermischen Reaktoren mit angereichertem Uran und schnellen Reaktoren $3 \cdot 10^{-5}\ \mathrm{s}^{-1}$. Noch größere Startgeschwindigkeiten $\dot{\varrho}$ (in der Größenordnung $10^{-4}\ \mathrm{s}^{-1}$) sind zulässig, wenn während des gesamten Startablaufs ein automatischer Schnellschluß ausgelöst wird, sobald die Periode einen vorgegebenen Grenzwert (in der Größenordnung 1 bis 10 s) unterschreitet. Wegen der relativen Unsicherheit der Periodenmessungen, insbesondere bei kleinen Neutronenflüssen, legt man die Trimmgeschwindigkeit auch bei Vorhandensein eines Periodenschnellschlusses zumeist nach den Bedingungen der Leistungsabschaltung fest. [9]

engl.: start-up accident
franz.: incident (accident) de démarrage
Lit.: s. Startverlauf

Statistik. Die S. ist charakterisiert durch die Methode ihrer Betrachtungen. Die wesentliche Voraussetzung ist, daß eine große Zahl von gleichartigen Gebilden vorliegt. Das Verhalten jedes Einzelteils (Moleküls, Atoms, Elementarteilchens) und die auf dieses

statisches Gewicht

wirkenden Kräfte, die Bewegungsgleichungen u. dgl. müssen bekannt sein. Unter dieser Voraussetzung interessiert sich die Statistik für das mittlere Verhalten, wie die mittleren Geschwindigkeiten und Energien (statistische Mechanik) und für die „makroskopische" Wirkung (Erklärung der Begriffe Temperatur, Entropie), die eine Gesamtheit von „mikroskopischen" Teilen erzeugt. Das bedeutet die Zurückführung der Thermodynamik auf mechanische Vorgänge und Gesetze.

Es sind mehrere Verfahren entwickelt worden, um diese Aufgaben durchzuführen. Das ältere geht auf Clausius, Maxwell und Boltzmann zurück, neuere stammen von Bose und Einstein sowie von Fermi und Dirac und werden nach ihnen benannt. [7]

engl.: statistics *franz.: statistique*

statistisches Gewicht einer Reaktorzone Z nennt man den Quotienten

$$G = \frac{\int\limits_Z \int\limits_E \Phi^\dagger(\mathfrak{r}, E)\ \Phi(\mathfrak{r}, E)\ \mathrm{d}E\ \mathrm{d}V}{\int\limits_R \int\limits_E \Phi^\dagger(\mathfrak{r}, E)\ \Phi(\mathfrak{r}, E)\ \mathrm{d}E\ \mathrm{d}V}.$$

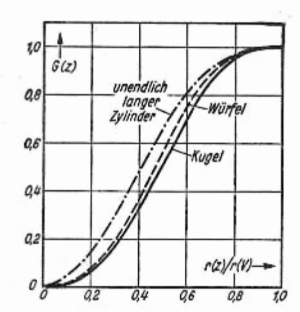
Dabei bedeutet $\Phi(\mathfrak{r}, E)$ den Fluß und $\Phi^\dagger(\mathfrak{r}, E)$ die *Einflußfunktion des Reaktors. Durch V ist angedeutet, daß das Raumintegral im Nenner über den ganzen Reaktor zu erstrecken ist. Will man z. B. den Reaktivitätseffekt eines Absorbers an verschiedenen Orten im Reaktor ermitteln, so muß man den auf den ganzen Reaktor bezogenen Effekt mit dem s. G. multiplizieren.

Bei einem selbstadjungierten Problem, z. B. einem nackten Reaktor in Eingruppen-Rechnung, reduziert sich die obenstehende Formel auf

$$G = \frac{\int\limits_Z \Phi^2(\mathfrak{r})\,\mathrm{d}V}{\int\limits_R \Phi^2(\mathfrak{r})\,\mathrm{d}V}.$$

Das dieser Formel entsprechende s. G. von nackten Reaktoren ist in der Abb. dargestellt. [13]

engl.: statistical weight
franz.: poids statistique



Staudruck, Bezeichnung aus der Strömungstechnik für die kinetische Energie einer Strömung, welche an Staustellen in Druckerhöhung (potentielle Energie) umgewandelt werden kann. Der *Druckverlust und daher die erforderliche Pumpleistung sowie Teilverluste in einem Kühlkreislauf sind näherungsweise dem S. (d. h. dem Quadrat der Geschwindigkeit) proportional. [8]
engl.: stagnation pressure
franz.: pression dynamique

Steifigkeit, magnetische. Als m. S. eines Strahles geladener Teilchen gleicher Geschwindigkeit (oder auch eines einzelnen derartigen Teilchens) wird das Produkt $H \varrho$ bezeichnet, wo ϱ den Krümmungsradius der Teilchenbahn in einem Magnetfeld der Stärke H bedeutet. Die m. S. ist bei gegebener Ladung der Teilchen ein unmittelbares Maß für ihren Impuls $m v$. [1]
engl.: magnetic rigidity
franz.: rigidité magnétique

Stellarator, s. Nachtrag.

Stellglied, physikalischer oder technischer Mechanismus, der zwecks *Regelung über die *Stellgröße so in die *Regelstrecke eines *Regelkreises eingreift, wie es die Funktion des *Reglers vorschreibt.
Das Stellglied stellt die Verbindung zwischen der zu

regelnden, unveränderlich vorgegebenen Regelstrecke und dem willkürlich wählbaren Regler her. Die wichtigsten S. der Reaktorregelung sind Steuerstäbe für Reaktivität, Steuerventile für Kühlströmung, Druckregler für Gas- und Dampfatmosphären. [9]
engl.: regulator output
franz.: organe de réglage

Stellgröße, physikalische Größe, welche die unmittelbare Wirkung des vom Regler verstellten Stellgliedes auf die Regelstrecke beschreibt. Die wichtigsten S.n bei der Reaktorregelung sind die *Steuerreaktivität und die *Kühlmittelgeschwindigkeit, die beide bestimmte Änderungen der *Regelgröße, d. h. der Leistung des Reaktors nach sich ziehen. Die zugehörigen *Stellglieder sind die Steuerorgane für die Reaktivität und den Kühlstrom. [9]
engl.: input signal
franz.: grandeur-témoin, grandeur moniteur

Stern. Wenn man eine Kernzertrümmerung, wie sie durch die energiereichen Partikel aus der kosmischen *Strahlung oder von einer großen Beschleunigungsanlage ausgelöst wird, in der photographischen Emulsion beobachtet, so sieht man diverse, von einem Zentrum strahlenförmig ausgehende mehr oder weniger schwarze Spuren. Diese Spuren werden durch geladene Elementarteilchen oder durch Kernbruchstücke hervorgerufen, die die Bromsilberkörner entwickelbar machen, indem sie diese ionisieren. Auf Grund dieses Augenscheins nennt man eine Kernzertrümmerung einen S. [7]
engl.: star
franz.: source ponctuelle
Lit.: W. Heisenberg, Vorträge über kosmische Strahlung, 2. Aufl., Springer, Berlin, 1953.

Steuereinrichtung, Sammelbegriff für alle Anlagen und Geräte zur Ausführung und Koordinierung bestimmter Steueraufgaben. Die zugehörigen Steuerbefehle werden entweder einzeln von Hand durch das Bedienungspersonal ausgelöst oder automatisch durch bestimmte vorgegebene Meldungen der *Überwachungseinrichtungen. Zur Bedienungsvereinfachung und Stei-

gerung der Sicherheit werden oft wiederkehrende oder besonders wichtige Steuerfolgen häufig zu automatisch ablaufenden *Steuerprogrammen zusammengefaßt. Besonders wichtige Steuerprogramme zur Steigerung der Sicherheit sind beispielsweise die automatischen Umschaltungen der Notkühlung und Schnellabschaltung, für den Fall, daß eine zunächst befohlene Maßnahme versagt hat. S. a. Sicherheitsprobleme, Sicherheitsoperationen, Sicherheitssystem. [9]
engl.: control mechanism
franz.: dispositifs de commande

Steuerhub, Amplitudenbereich, in dem die Eingangsgröße (*Stellgröße) eines *Übertragers bei Steuerungen geändert werden kann. Bei Reaktivitätssteuerungen an Reaktoren ist der maximale S. praktisch mit dem *Trimmhub identisch. Der S. des einzelnen Regelstabes wird dagegen zur Verhinderung von Startzwischenfällen praktisch immer auf $\Delta k \leq \beta$ begrenzt. S. a. Sicherheitsprobleme, Neutronenflußregelung. [9]
engl.: control range
franz.: domaine de régulation

Steuerkennlinie (Steuerstabkennlinie) stellt den Zusammenhang zwischen der geometrischen Verstellung eines *Steuerorgans und der zugehörigen unmittelbaren physikalischen Wirkung, z. B. der Reaktivitätsänderung in einem Reaktor, dar. Als grober Anhaltspunkt für die resultierende S. kann bei stabförmigen Absorberelementen in Reaktoren angesetzt werden, daß die Wirkung jedes einzelnen Stababschnitts etwa proportional zum Quadrat des ungestörten Neutronenflusses an der gleichen Stelle vor dem Einbringen des Stabes ist. Für axial verschobene Steuerstäbe ergibt sich daraus bei allen näherungsweise kubischen Reaktoren eine sinusförmige S. vom Typ

$$\Delta k(z) = \Delta k(H) \cdot \frac{1}{2} \cdot \left[1 - \cos\left(\frac{z}{H}\,\pi\right)\right],$$

Δk Steuerreaktivität, z Eintauchtiefe in die effektive *Spaltzone in Axialrichtung, H maximale Eintauch-

tiefe. Qualitativ ähnliche Verläufe ergeben sich auch für einzelne exzentrische stabförmige Absorberdreharme.
Zwischen den S.n mehrerer paralleler Reaktivitätssteuerorgane (Absorberstäbe) bestehen wegen der starken Verzerrungen der Neutronenverteilung in der näheren Umgebung u. U. erhebliche Kopplungen. Daraus folgt für abnehmende Abstände zwischen den Steuerorganen im allgemeinen zunächst eine Verstärkung der Steuerwirkung, bis bei etwa 1 bis 2 Diffusions- bzw. Wanderlängen ein Maximum erreicht wird. Anschließend folgt ein sehr schneller Abfall der Wirkung bis weit unter den Wert für das einzelne Steuerorgan allein. Die gleichen Effekte bewirken bei einer großen Zahl paralleler Absorberstäbe eine allmähliche Veränderung der S. in Richtung auf die S. der *Moderatorspiegelabsenkung. [9]
engl.: control rod efficiency function
franz.: efficacité de réglage

Steuerorgan, allgemeine Bezeichnung für Einrichtungen bzw. Geräte zur Ausführung von Steuerbefehlen. Typische S. sind z. B. die *Stellglieder der Regelung und speziell am Reaktor die Trimmorgane, Abschaltkupplungen, Steuerventile, Absperrklappen u. dgl. [9]
engl.: control mechanism
franz.: dispositifs de commande

Steuerprogramm, s. Programmsteuerungen.

Steuerpult, zentrale Steueranlage eines Reaktors, die im allgemeinen folgende wesentliche Teile enthält: Bedienung und Anzeige der Steuerstäbe, lineare und logarithmische Anzeige und Registrierung des Neutronenflusses (Reaktorleistung), *Meldetafel, Temperaturanzeige an verschiedenen Punkten des Reaktors, Anzeige der Reaktorperiode. [19]
engl.: control desk
franz.: pupître de commande

Steuerreaktivität, eingeprägte, Änderungen der Kaltreaktivität infolge von Änderungen der Reaktorstruktur bei Steuerbewegungen. Die e. S. stellt den Reaktivitätswert dar, den man bei Wegfall aller Leistungs- und Temperaturrückwirkungen als alleinige

Folge der Steuerungen erhalten würde. Sie charakterisiert nur den Zustand der Steueranlagen. Die Größe der S. bei bestimmten Einstellungen ergibt sich aus den *Steuerkennlinien der Steuerorgane. [9]
engl.: control element reactivity change

Steuerung, rückwirkungsfreie (bzw. -arme), eindeutige Veränderung einer physikalischen Ausgangsgröße als Folge einer bestimmten Einstellung der Eingangsgröße.
Bei der *Reaktivitätssteuerung wird die Eingangsgröße zumeist als elektrisches oder pneumatisches Signal gegeben und über ein Zwischenglied in eine definierte Reaktivitätsänderung übersetzt. Typische Ausführungsformen sind hier bewegte Absorber-, Reflektor-, Moderator- oder Brennstoffteile oder Kombinationen zwischen mehreren von diesen, ferner definierte Temperatur- oder Druckänderungen, Konzentrationsbeeinflussungen und Kühlungsänderungen. Einzelheiten s. u. Absorberelemente, Moderatorspiegelsteuerung, Konzentrationstrimmung etc. [9]
engl.: control devices
franz.: appareillage de réglage
Lit.: s. Regelung.

Steuerverlauf, zeitlicher Verlauf der Steuerbewegungen eines Steuerorgans, insbesondere der Reaktivitätsänderungen bei Trimm-, Regel- und Abschaltbewegungen am Reaktor.
Durch Fourierzerlegung des St. und eine Analyse des *Frequenzgangs des gesteuerten Objekts, z. B. des Reaktors, lassen sich auch komplizierte St. in ihrer Wirkung auf die Steuerstrecke beurteilen. Typische St. sind: Einheitsstoß (Delta-Funktion), Sprungfunktion (Amplitudensprung), Rampenfunktion („Geschwindigkeits"-Sprung), Exponentialfunktion („Perioden"-Sprung), harmonische Schwingung (Sinuswelle), Sägezahnschwingung, Rechteckschwingung. [9]
engl.: input function
franz.: graphique de réglage
Lit.: s. Regelung.

Stilben-Kristalle werden verwendet für Szintillationszähler. Das Maximum der Emission liegt bei 4200 Å, Abklingzeit 10^{-8} s. [6]

Stimulation nennt man die Anregung normaler biologischer Vorgänge. Eine St. kann durch verschiedenste Reizwirkungen zustandekommen: mechanische Reize, Wärme und Licht, Fermente, chemische Wirkgruppen u. a. Die St. kann z. B. Plasmaströmung, Kernteilungsablauf, Zell- und Gewebewachstum, Organdifferenzierung bzw. das ganze Individium betreffen. [28]
engl.: stimulation
franz.: stimulation

Stirlingsche Formel. Die S. F. gibt eine bequeme Rechenvorschrift, um den Ausdruck $n!$ für große Werte von n angenähert auszurechnen:

$$n! = \sqrt{2\pi n}\,(n/\mathrm{e})^n$$

(e Basis der nat. Log.).
Bereits für $n = 10$ weicht der Näherungsausdruck um weniger als 1 % von dem wahren Wert von n ab, so daß die S. F. in allen praktisch vorkommenden Fällen brauchbar ist. Der prozentuale Fehler wird mit wachsendem n immer kleiner. [7]
engl.: Stirling's formula
franz.: formule de Stirling

Stoffaustausch oder **Stoffübergang** von einer Phase (z. B. Flüssigkeit) in eine andere oder von einem Raumteil in einen anderen (*Diffusion) spielt in sehr viele Prozesse der Verfahrenstechnik hinein. Er ist fast immer von einem konvektiven Wärmeaustausch begleitet, weil die wandernden Stoffe sich häufig zwischen Reaktionspartnern verschiedener Temperatur bewegen oder mehr oder weniger große Wärmetönungen hineinspielen. Der S. ist bei Vorgängen wie der Rektifikation, der Trocknung, der Adsorption, der Kristallisation, der Extraktion und Solventextraktion, sehr wesentlich aber bei der heterogenen Katalyse, beteiligt. Bei der letzteren handelt es sich ja stets darum, die Reaktionsteilnehmer in die Reaktionszone und die Erzeugnisse aus dieser wieder herauszuführen. Da katalytische Reaktionen im wesentlichen Grenzflächenvorgänge sind, spielen also hierbei die Vorgänge an den Berührungsflächen der Stoffe eine Rolle (Grenzschichten, Film). Das wirksame Potential hierfür ist ein Konzentrationsgefälle (vgl. Diffusion, 1. F i c k sches Gesetz). Während die durch

die Strömungsverhältnisse (R e y n o l d s - Zahl) bestimmte Grenzschicht (Größenordnung 10^{-1} mm) bei Flüssigkeiten und Gasen relativ leicht beeinflußt werden kann, etwa durch Rühren, ist das bei festen Körpern wesentlich schwieriger. Diese hier meist als Deckschichten, Passivierungsschichten oder Polarisationsfilme bezeichneten (adsorbiert oder chemisch gebunden) Hindernisse für den S. müssen mehr oder weniger mühsam, meist auf mechanischem Wege, entfernt werden (z. B. das Bürsten von Elektroden bei der pH-Messung!). – Ein Beispiel für gleichzeitigen Stoff- und Wärmeaustausch ist die Trocknung: Aus dem Trockengas wird Wärme an das Trockengut übertragen. Die Flüssigkeit verdunstet und diffundiert in das Gas hinein. Die Umkehrung dieses Vorganges ist das Austauen einer Flüssigkeit aus einem Gas an einer kalten Fläche. [2]

engl.: mass transfer
franz.: échange de matière

Lit.: S. Kießkalt, Verfahrenstechnik, München, 1951 (dort weitere Literaturhinweise). – O. Krischer, Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik, Berlin, 1956. – W. Matz, Die Thermodynamik des Wärme- und Stoffaustausches in der Verfahrenstechnik, Frankfurt, 1949.

Stoffbilanz beim homogenen Reaktor. Wenn ein homogener Reaktor mit flüssigem Brennstoff im kontinuierlichen Betrieb arbeitet, müssen die Mengen der zugeführten, der im Reaktor enthaltenen und der abgezogenen Stoffe in bestimmten Relationen zueinander stehen, falls im betrachteten Zeitraum die Reaktorleistung konstant bleibt. Die Beziehungen zwischen der Reaktorspeisung F^0 (in Grammatomen pro s) und dem Reaktorinventar I (in Grammatomen) werden durch den Neutronenhaushalt und einen Erhaltungssatz für das Reaktorinventar bestimmt. Das Schema zeigt als Beispiel die bei einem homogenen Uran-Reaktor mit Plutonium-Rückführung vorliegenden Verhältnisse. Es werden F Grammatome Uran pro s zugeführt, die in der Brennstoffzubereitung *B.Z.* mit dem rückfließenden Plutonium gemischt werden. Das Reaktorinventar weist neben den zugeführten Stoffen auch ^{236}U (Index 26) sowie Spaltprodukte (Index Sp) auf. Aus dem Reaktor muß nach dem Erhaltungssatz wieder

Stoffbilanz

die gleiche Menge F^0 pro s entzogen werden, wie auf der Eingangsseite zufließen. In dieser einfachen Form gilt jedoch der Erhaltungssatz nur, wenn man ver-

Pu-Rückführung

→ B.Z. → REAKTOR → Ch.A. →

U-Zufuhr	Speisung	Inventar	Produkt	Abfall	
F_U^0 { F_{25}^0	F_{25}^0	I_{25}	F_{25}	F_{25}	
0	0	I_{26}	F_{26}	F_{26}	
F_{28}^0	F_{28}^0	I_{28}	F_{28}	F_{28}	
0	F_{Pu}^0	I_{Pu}	F_{Pu}^0	0	
0	0	I_{Sp}	F_{Sp}	F_{Sp}	
$F^0 - F_{Pu}^0$	F^0	I	F^0	$F^0 - F_{Pu}^0$	total

einbart, daß die Spaltprodukt-P a a r e als einzelne Teilchen gezählt werden. In diesem Fall entspricht jedem Grammatom gespaltener Urankerne wieder ein Grammatom von Spaltprodukt-Paaren (die bei der Spaltung in Energie umgesetzte Massendifferenz spielt in dieser groben Stoffbilanz keine Rolle). Aus dem Erhaltungssatz folgt weiter, daß für jeden einzelnen Stoff der Quotient aus dem Inventar und der Abflußrate dieses Stoffes konstant sein muß: $I/F = T = \text{const.}$ Unter T ist die mittlere Verweilzeit des Brennstoffs im Reaktor zu verstehen. Die chemische Aufarbeitungsanlage *Ch.A.* trennt das Plutonium vom Reaktorprodukt ab.

Unter Berücksichtigung der Neutronenbilanz des Reaktors können die Mengen der einzelnen Stoffe im Reaktor näher bestimmt werden. Für das ^{235}U besteht z. B. die Beziehung

$$\overset{\circ}{F}_{25} = \sigma_{25}\, \Phi\, I_{25} + F_{25}\,,$$

wenn unter Φ der mittlere Fluß und unter σ_{25} der (thermische) Absorptionsquerschnitt verstanden wird. Da nach dem Erhaltungssatz $F_{25} = I_{25}/T$, so folgt

$$I_{25} = \frac{\overset{\circ}{F}_{25}\, T}{1 + \sigma_{25}\, \Phi\, T}\,.$$

In ähnlicher Weise kann man auch für die anderen Stoffe vorgehen, wobei sich Formeln wachsender Kom-

pliziertheit ergeben, je höher das betreffende Isotop in der Umwandlungskette liegt. [13]

engl.: fuel balance *franz.: bilan-matières*

Lit.: M. Benedict and T. H. Pigford, Nuclear Chemical Engineering, McGraw-Hill, New York, 1957.

Störstrahlung. Als St. wird die im Röntgen-Raum auftretende Strahlung (d. h. *Streustrahlung, sowie geschwächte aus der Röhrenhaube austretende Primärstrahlung), die nicht als Nutzstrahlung Verwendung findet, bezeichnet. [28]

engl.: perturbation radiation

franz.: rayonnement parasite

Störungsrechnung, s. Reaktor-Störungsrechnung.

engl.: perturbation theory

franz.: théorie de perturbation

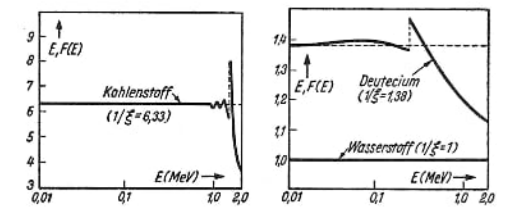
Stoßdichte, auch **Stoßzahldichte** $F(E)$ nennt man die auf ein Energieintervall bezogene Zahl der Zusammenstöße pro cm^3 und s, welche Neutronen in einem unendlichen, homogenen, streuenden und absorbierenden Medium mit Kernen erleiden. Es ist

$$F(E) = \Phi(E) \cdot \Sigma(E),$$

wobei Φ den Fluß und Σ den totalen Wirkungsquerschnitt bedeuten. Die S. kann mit Hilfe der *Bremsgleichung bestimmt werden.

Handelt es sich um elastische Stöße, so ist in der Bremsgleichung die *Bremswahrscheinlichkeit $g(E, E')$ zu verwenden (s. Bremsgleichung). Bei Wasserstoff (ohne Absorption) ergibt sich dann einfach $F(E) = Q/E$, wenn Q die Quelldichte der Neutronen darstellt. Bei schwereren Kernen verhält sich $g(E, E')$ sprungartig. Die Bremsgleichung kann in diesem Fall nur durch umständliche Verfahren gelöst werden und es zeigt sich, daß die S. im oberen Energiebereich Unstetigkeiten zeigt (Abb.). Diese rühren davon her, daß die Erdstöße nur bis zu Energien $E \geqq \alpha E_0$ führen können, wenn E_0 die Quellenergie bedeutet und α durch $(A - 1)^2/(A + 1)^2$, mit der Massenzahl A der streuenden Kerne, gegeben ist. Zum Energiebereich $E < \alpha E_0$ tragen sie nicht mehr bei (s. elastische Streuung). Man kann die aus den Unstetigkeiten der S. folgenden Schwierigkeiten in verschiedener Weise durch Näherungsannahmen umgehen. Man kann etwa

$g(E, E')$ durch glatte Funktionen approximieren, indem man die *Bremskerne von Wigner oder Greuling-Goertzel benützt. Man kann sich



andererseits auch auf das „asymptotische Gebiet" ($E \ll \alpha E_0$) beschränken, wo die Quellstörungen bereits abgeklungen sind. In diesem Fall ergibt sich (ohne Berücksichtigung von Absorption) $F(E) = Q/E\,\xi$, wobei ξ den mittleren logarithmischen Energieverlust pro Stoß bedeutet.

Ist auch noch Absorption zu berücksichtigen, so wird die Bestimmung der S. schwierig. Der einfachste Fall liegt vor, wenn Wasserstoff als Moderator mit einem schweren Absorber homogen vermischt ist. Die S. ergibt sich dann zu $F(E) = Q \cdot p(E)/E$.

Dabei bedeutet $p(E)$ die Bremsnutzung. Schließlich kann man auch eine *Erststoß-Korrektur vornehmen. [13]

engl.: collision density *franz.: densité des chocs*

Lit.: R. E. Marshak, Theory of the Slowing Down of Neutrons by Elastic Collisions with Atomic Nuclei, Rev. Mod. Phys. 19, 185 (1947). – S. Glasstone and M. C. Edlund, The Elements of Nuclear Reactor Theory, Van Nostrand, New York, 1952, Kap. VI.

Stoßintegral, s. Maxwell-Boltzmann-Gleichung.

Stoßionisation oder **Stoßionisierung,** Ionisation von Atomen oder Molekülen durch den Stoß von Elektronen (s. Elektronenstoß), evtl. auch von Ionen, welche in einem gaserfüllten Raum durch ein elektrisches Feld beschleunigt worden sind. Die S. spielt eine wichtige Rolle bei der Vorstufe zum elektrischen Durchbruch durch ein Gas. Die wenigen ursprünglich vorhandenen Ionen und freien Elektronen schaffen, wenn die Spannung zwischen den Elektroden einen genügenden Wert erreicht hat, durch S. neue Ionen und Elektronen, die sich ihrerseits auch wieder an der S. beteiligen, so daß

die Zahl der Ladungsträger außerordentlich vermehrt wird, wodurch beim Überschreiten einer gewissen Spannung eine selbständige Gasentladung zustande kommt.

In der Ionisationskammer muß S. vermieden werden (durch Wahl einer Spannung unter einer kritischen Grenze), damit die durch eine Strahlung gebildeten Ionen unverfälscht zur Messung kommen. Beim Spitzenzähler und beim Zählrohr wird umgekehrt die S. benutzt, um die primär von einem Strahlungs-Teilchen gebildeten Ionen auf ein hohes Vielfaches zu vermehren, wodurch man einen leichter nachweisbaren Stromstoß erhält. [1]

engl.: impact ionization *franz.: ionisation par choc*

Stoßquerschnitt, generell synonym zu *Streuquerschnitt. In der Regel wird Streuquerschnitt bevorzugt in der Kernphysik gebraucht (Streuung von Neutronen an Atomkernen), S. dagegen in der kinetischen Gastheorie und Plasmaphysik. S. bedeutet hier den *Wirkungsquerschnitt eines Gasmoleküls, Atoms oder Ions für einen Zusammenstoß mit einem anderen Gasmolekül, Atom, Ion oder Elektron. Man nennt den S. daher vielfach auch den gaskinetischen Querschnitt. Unter der Annahme kugelförmiger Moleküle wird der S. näherungsweise das $\pi/4$fache des Quadrats des Moleküldurchmessers. Er ist für einfache Moleküle wie H_2, O_2, N_2 von der Größenordnung 10^{-15} cm^2. Ionenquerschnitte für den Stoß von geladenen Teilchen (insbes. Elektronen) werden heute meist nach Gvosdover berechnet. [1, 7]

engl.: collision cross section

franz.: section efficace de choc

Stoßverbreiterung, s. Linienverbreiterung.

engl.: collision broadening

franz.: élargissement des raies par suite de chocs

Stoßzahl, die Anzahl von Zusammenstößen, welche ein Teilchen (Neutron, Atom, Molekül, Ion) in der Zeiteinheit mit anderen Teilchen (Atomkernen) erleidet. Die St. hängt eng mit der mittleren freien Weglänge λ zusammen. Sie ergibt sich als der Quotient v/λ, wo v die mittlere thermische Geschwindigkeit ist. Da die freie Weglänge um so kleiner ist, je größer der

Streuquerschnitt der Moleküle ist, geht die St. proportional mit dem Streuquerschnitt. Die St. in Gasen von normalem Druck ist außerordentlich hoch, in Wasserstoff unter Normalbedingungen z. B. $14 \cdot 10^9$ Zusammenstöße je Sekunde. Die St. von Neutronen in den üblichen Moderatoren liegt zwischen 10^5 und 10^6. [1]
engl.: collision number *franz.: nombre de chocs*

Strahlenbiologie ist die Lehre von den biologischen Erscheinungen nach einer Strahleneinwirkung. [28]
engl.: radiobiology *franz.: radiobiologie*

Strahlenchemie. Zweig der Chemie, der sich mit den Wirkungen energiereicher *Strahlung (z. B. Röntgen-, Neutronenstrahlen usw.) auf chemische Systeme befaßt. [18]
engl.: radiation chemistry
franz.: chimie sous radiation, chimie des radiations

Strahlenempfindliches Volumen, s. Treffbereich.

Strahlenempfindlichkeit, s. Strahlenreaktion.
engl.: radiosensibility, radiosensitivity
franz.: radio-sensibilité

Strahlengenetik, Forschungsrichtung, die sich mit den Wirkungen von ionisierenden Strahlen und Ultraviolett auf Gene und Chromosomen beschäftigt. Im gegenwärtigen Zeitpunkt konzentriert sich das Hauptinteresse auf die Aufklärung der primären biophysikalischen und biochemischen Prozesse bei der Strahleninduktion von Genmutationen und Chromosomenbrüchen. [28]
engl.: radio-genetics
franz.: radiogénétique, radio-biologie

Lit.: Z. M. Bacq u. P. Alexander, Principes de la Radiobiologie, Masson et Cie, Paris, 1955. – A. Hollaender, Radiation Biology I/1, McGraw-Hill, New York, 1954. – C. Auerbach, Genetics in the Atomic Age, Oliver and Boyd, Edinburgh, 1956.

Strahlenkanal, s. Experimentierkanäle.
engl.: beam hole *franz.: canal d'expérimentation*

Strahlenkrankheit (Bestrahlungssyndrom), krankhafte Erscheinungen nach einer kurzzeitigen Ganzkörper- oder ausgedehnten Teilkörperbestrahlung mit Strahlendosen über 25 r. Beginn, Verlauf und Schwere der Krankheit sind abhängig von der Strahlendosis, Strahlenart und Bestrahlungsweise sowie von der Art und der Größe des von Strahlen getroffenen Körper-

bereiches bei Teilkörperbestrahlung. Die Frühreaktion setzt meist einige Stunden nach der Strahleneinwirkung ein. Als Allgemeinreaktionen kommen in Betracht: Schwindel, Kopfschmerz, Übelkeit, Erbrechen, Mattigkeit, Durstgefühl, Appetitlosigkeit. Bei schwächeren Dosen können diese Erscheinungen fehlen, bei hohen Dosen dagegen können sie zum Strahlentod führen. Daneben können sich dann im einzelnen noch entzündliche Veränderungen an den Augenbindehäuten, dem Zahnfleisch und den Schleimhäuten der Nase, des Rachens und des Mundes finden. Mit Beginn der dritten Woche nach erfolgter Strahlenverletzung durch größere Strahlendosen kehren die bis dahin abgeklungenen Beschwerden wieder verbunden mit Fieber, Störung der Magen-Darm-Tätigkeit, Blutungsneigung (Blutungen in der Haut und den Schleimhäuten von Nase und Mund, Nasenbluten, Blutspucken, Bluthusten, Blut-Erbrechen, blutige Stühle, Blutharn, Blutarmut). Es kommt zu lokalen Entzündungen, Geschwürsbildungen, Lungenentzündung, Infektionen. Personen, die die achte Woche überleben, haben i. a. gute Heilungsaussichten. Drei bis vier Monate nach der Strahleneinwirkung kann die S. zu einem fortschreitenden Kräfteverfall mit schwerster Abmagerung, Schwellungen der Haut (Ödem), Gelbsucht (Leberschädigung!), Durchfällen führen. Zugleich kommt es zur Erschöpfung der gesamten blutbildenden Organe (Milz, Knochenmark, Lymphknoten) und zu einem Absinken der Blutplättchen. Ein charakteristisches Merkmal der Strahlenschädigung ist der zwei bis drei Wochen nach der Strahleneinwirkung einsetzende Haarausfall, weiterhin die Schädigung der Keimdrüsen (zeitweiliges oder dauerndes Aussetzen der Regelblutungen bei Frauen) mit begrenzter oder dauernder Unfruchtbarkeit. Charakteristische Dosiswerte bei kurzzeitiger Ganzkörperbestrahlung des Menschen mit γ-Strahlen: bei 25 r noch keine klinisch erkennbaren Schäden, bei 25–100 r leichte Krankheitssymptome, Verminderung der Lymphozyten, bei 100 r Übelkeit, Erbrechen, Müdigkeit, bei 100 bis 200 r Strahlenkrankheit, erste Todesfälle, bei 200 r verminderte Zahl sämtlicher Blutzellen, herabgesetzte Vitalität, ca. 5 % Sterblichkeit, bei 400 r 50 % Sterb-

lichkeit innerhalb von dreißig Tagen, bei 600 r 100 % Sterblichkeit (95 % innerhalb von 14 Tagen). [28]
engl.: radiation disease
franz.: troubles dûs aux radiations, affection consécutive à une radiation

Strahlenkrebs, s. Krebsentstehung.
engl.: cancer induced by radiation
franz.: cancer par rayons

Strahlenqualität, gleichbedeutend mit Härte von *Röntgenstrahlen. Sie ist bestimmt durch die Erzeugungsspannung der Strahlung und die Filterung. [17]
engl.: radiation quality
franz.: qualité d'une radiation

Strahlenreaktion. Die Reaktion des menschlichen Organismus auf den Einfluß ionisierender Strahlen ist eine Reaktion lebender Substanz. Jede biologische Reaktion ist die Folge eines Zusammenspiels physikalischer, chemischer und biologischer Elementarvorgänge. Die Art und Größe der Reaktion des Organismus ist abhängig von der Art des bestrahlten biologischen Objektes und den physikalischen Bedingungen. Wichtig sind dabei auch normale Faktoren wie Wasser- und Sauerstoffgehalt, Höhe der Temperatur, die nervöshumorale Ausgangslage, Auswirkungen auf das vegetative Nervensystem und die endokrinen Organe. Es handelt sich also um recht komplexe Vorgänge und Erscheinungen. Die Analyse dieser Vorgänge ist die wesentlichste Aufgabe der Radiobiologie.
Bei der Wirkung ionisierender Strahlen auf den menschlichen Organismus und der Reaktion des Organismus darauf müssen folgende Punkte beachtet werden:
1. Es besteht ein grundlegender Unterschied, ob eine Ganzkörperbestrahlung oder eine Teilkörperbestrahlung stattgefunden hat. Während bei einer Teilkörperbestrahlung Dosen von 10 000 bis 20 000 r gegeben werden können, ohne daß es zu einem Absterben des ganzen Organismus kommt, genügt bei der Ganzkörperbestrahlung eine Dosis von 400–600 r, um den Tod des gesamten Organismus hervorzurufen.
2. Die Gewebe und Organe des menschlichen Körpers weisen eine unterschiedliche Strahlenempfindlichkeit

auf. Nach abnehmender Strahlenempfindlichkeit geordnet ergibt sich folgende Reihe:

1. Lymphgewebe, Knochenmark, Thymus
2. Ovarien, Hoden
3. Schleimhäute
4. Haut
5. Lunge und Niere
6. Nebenniere, Leber, Bauchspeicheldrüse
7. Schilddrüse
8. Muskelgewebe
9. Knochengewebe, Knorpelgewebe
10. Nervengewebe und Hirnzellen.

Bei der Schädigung jedes Gewebes oder Organs ist noch die Funktion und die Wichtigkeit für den Gesamtorganismus zu berücksichtigen.
Die Allgemeinreaktion des menschlichen Organismus bei großer Teilkörperbestrahlung bzw. bei Ganzkörperbestrahlungen läßt sich in folgende Punkte zusammenfassen:
1. Subjektive Empfindungen und Reaktion des vegetativen Nervensystems,
2. Schädigungen der blutbildenden Organe wie Knochenmark, Milz etc.,
3. Schwächung der allgemeinen Abwehrlage und dadurch Auftreten schwerer Erkrankungen wie Lungenentzündung, Sepsis etc.
Alle Gewebe des menschlichen Organismus besitzen eine gewisse Regenerationsfähigkeit mit Ausnahme des Keimdrüsengewebes, dessen Schäden irreparabel sind. Genetische Schäden können nicht wieder beseitigt werden.
Einzelne Gewebe, wie Nierengewebe und Nervengewebe, sowie Knorpel zeigen eine weitgehende Resistenz in Bezug auf morphologische Veränderungen. Dagegen besteht beim Nieren-, Nerven- und Hirngewebe die Möglichkeit einer Beeinflussung in funktioneller Hinsicht. [28]
engl.: radiosensitivity
franz.: radio-sensibilité

Strahlenschäden, summarische Bezeichnung für die

Veränderungen, die ein Stoff durch Beschuß mit korpuskularer oder elektromagnetischer Strahlung erleidet. Die wichtigsten der makroskopisch beobachtbaren Veränderungen sind: Änderung der geometrischen Abmessungen (bei anisotropen Stoffen), Zersetzung unter Teer- und Gasbildung (organische Kunststoffe, Knallgasbildung bei Wasser), Erhöhung von Festigkeit und Härte, Verschiebung des Übergangsbereiches von Spröd- zu Verformungsbruch zu höheren Temperaturen, Verringerung der elektrischen und thermischen Leitfähigkeit. – Art und Größe der beobachtbaren Veränderungen hängen von mehreren Einflußgrößen ab:

1. Von der Art der auftreffenden Strahlung. Elektromagnetische Strahlung wirkt lediglich durch Ionisation. Geladene Korpuskeln (Spaltprodukte, α- und β-Teilchen, Anstoßatome) verursachen Kernstöße und Ionisation. Schnelle Neutronen schließlich bewirken primär Kernstöße. Die gestoßenen Partikel (Anstoßatome) ihrerseits können teilweise ionisiert weiterfliegen und entsprechend wirken.

2. Von der Energie der auftreffenden Teilchen. Schnelle Neutronen verursachen starke Veränderungen. Thermische Neutronen diffundieren, ohne wesentliche Veränderungen im betreffenden Medium zu hinterlassen. Ein geladenes Teilchen verliert beim Durchgang durch Materie einen Teil seiner Energie i. a. durch Ionisation, bei sehr hohen Energien auch durch Bremsstrahlung und Anstoßprozesse. Die Spaltprodukte sind die energiereichsten Teilchen im Reaktor. Ihre Energie liegt bei 80 bis 90 MeV, die der Spaltungsneutronen bei 2 MeV. Die Schädigungen, die durch Spaltprodukte hervorgerufen werden, sind dementsprechend auch die schwersten überhaupt (s. Uran).

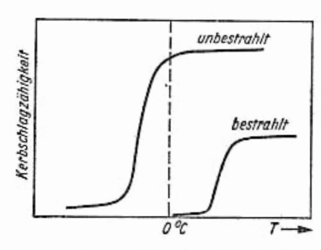
3. Von der Art des bestrahlten Stoffes, insbesondere der Art der Bindung im bestrahlten Stoff. Metalle sind gegen Ionisation unempfindlich. Veränderungen in ihnen werden nur durch Kernstöße energiereicher Projektile hervorgerufen. Ionenkristalle und Stoffe mit kovalenter Bindung (organische Verbindun-

gen, Kunststoffe) werden sowohl durch Kernstoß als auch durch Ionisation verändert.

4. Von Dauer und Intensität der Bestrahlung. Die Größe der beobachtbaren Veränderungen sind im allgemeinen dem Zeitintegral des Strahlungsflusses (*Flußzeit) proportional.

5. Von der Temperatur des bestrahlten Stoffes. Die Temperatur ist besonders bei der Bestrahlung von Metallen eine wichtige Einflußgröße. Die Schädigungen beruhen hier in der Hauptsache auf der Schaffung von Gitterfehlstellen, die mit steigender Temperatur immer leichter ausheilen können (Rekombination von Frenkel-Defekten).

St. in Metallen. Eine Ionisation ist bei Metallen ohne Wirkung. Schädigung tritt allein durch Kernstöße auf, die zur Bildung von *Frenkel-Defekten und *Thermal Spikes* führen. Makroskopisch beobachtet man bei bestimmten anisotropen Metallen eine Längenänderung der Proben (s. Uran), eine Erhöhung der Festigkeit, eine Erhöhung der Härte, eine Versprödung und eine Verringerung der elektrischen und thermischen Leitfähigkeit. In einigen Phänomenen sind diese Änderungen qualitativ denen gleich, die durch Kaltverformung oder durch Einbau von Legierungselementen hervorgerufen werden können, doch versagen diese Modelle bei einem exakten Vergleich, weil die Mechanismen verschieden sind. – In der Praxis dürfte sich



Einfluß einer Bestrahlung durch schnelle Neutronen (10^{20} nvt) auf die Kerbschlagzähigkeit von Kohlenstoffstahl (schematisch).

am ernstesten stets die Versprödung auswirken. Durch Bestrahlung verringert sich in vielen Fällen die Kerb-

schlagzähigkeit. Die Übergangstemperatur vom Verformungs- zum Sprödbruch kann sich nach höheren Temperaturen zu verschieben. Dies Verhalten scheint auf kubisch-raumzentrierte Gitter beschränkt zu sein. (S. Skizze. Vgl. auch Lebensdauer von *Brennstoffelementen und *Uran.) Im allgemeinen sind die beobachtbaren Veränderungen um so geringer, je höher die Temperatur ist, bei der die Bestrahlung vorgenommen wird. Als weitere Regel kann gelten, daß die Schäden bei einer gegebenen Temperatur um so größer sind, je höher der Schmelzpunkt des betreffenden Metalls ist.

St. in Kunststoffen. Die Bindung innerhalb der Ketten von organischen Kunststoffen ist kovalent. Ionisierende Strahlung und auch Neutronen zerstören diese Bindungen. Bei kleinen Bestrahlungsdosen kann es dabei bei verschiedenen Kunststoffen zu einer Verbesserung der Eigenschaften kommen, weil durch Reaktion von Radikalen verschiedener Ketten eine Vernetzung stattfindet. Bei höheren Bestrahlungsdosen überwiegt jedoch der Kettenabbau, der über niedere Polymere zur völligen Zerstörung unter Bildung von Kohlenstoff und Gasen führt. Eine Tabelle im Anhang von Bd. I gibt bekannte Werte für die höchstzulässigen Neutronen- und Gammadosen an.

St. in Wasser. Die Bestrahlung von Wasser mit elektromagnetischer oder korpuskularer Strahlung führt stets auf sehr kompliziertem Wege über *Radikale zur Bildung von Knallgas. Daneben treten auch geringe Mengen von Wasserstoffperoxyd auf. Die stärkste Knallgasmenge pro Zeiteinheit beobachtet man bei homogenen Reaktoren, bei denen die Spaltprodukte im Wasser abgebremst werden. Bei wassermoderierten heterogenen Reaktoren ist die Knallgasbildung nur klein und um so geringer, je sauberer das verwendete Moderatorwasser ist. Die Größenordnung der anfallenden Knallgasmenge liegt hier bei etwa 1 Liter Knallgas NTP pro Stunde, wenn das verwendete Wasser eine Leitfähigkeit von 1 μS besitzt. Alle wassermoderierten Reaktoren sind mit Gaskreisläufen ausgerüstet, in denen Katalysatoren die Rekombination des gebildeten Knallgases übernehmen. Reinigungskreisläufe mit Ionenaustauschern besorgen die Reinigung des Mode-

ratorwassers von den eingetragenen Korrosionsprodukten der *Strukturmaterialien. S. a. Radiolyse. [20]
engl.: radiation damage
franz.: défauts dûs à l'irradiation

Lit.: K. Lintner u. E. Schmid, Erg. ex. Naturwiss. 28, 302 (1955). – Billington, Peaceful Uses of Atomic Energy, Bd. 7, S. 421, Genf, 1955. – G. Glasstone, Principles of Nuclear Reactor Engineering, S. 491 ff., van Nostrand, New York, 1955.

Strahlenschädigung, biologische, allgemeine oder lokale Schädigung von Zellen und Geweben eines Organismus durch energiereiche Strahlen, bei der es im Anschluß an die Bestrahlung zu einem Zellzerfall, zu Geschwürsbildungen und u. U. zu einer Entwicklung von bösartigen Geschwülsten kommen kann. [28]
engl.: biological effects of radiation
franz.: radiolésion biologique

Strahlenschutz, Vorkehrungen zur Herabsetzung der Strahlenbelastung der strahlenbelasteten Personen, wobei alle diejenigen Faktoren untersucht werden, die sowohl hinsichtlich der Einrichtung als auch der Handhabung der Strahlenquellen einen Anlaß für eine Gefährdung geben können. Der S. wird z. Z. in Deutschland durch die Röntgen-Verordnung für gewerbliche Betriebe von 1941, durch die vom Fachnormenausschuß für Radiologie aufgestellten Richtlinien und durch die von der Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege herausgegebenen Unfallverhütungsvorschriften geregelt. Eine Strahlenschutzverordnung ist in Vorbereitung. [28]
engl.: protection of radiation
franz.: radioprotection, protection contre les radiations, radiophysique médicale et sanitaire

Strahlentherapie, Behandlung von Erkrankungen durch energiereiche ionisierende Strahlen.
Die Anwendung energiereicher ionisierender Strahlen zur Behandlung von Erkrankungen beruht einmal auf der Fähigkeit dieser Strahlen, in den Zellen, Geweben und Organen eines Organismus Veränderungen hervorzurufen, die bei entsprechender Dosierung zum Absterben der Zellen, Gewebe und Organe führen können und zum anderen auf ihrer Fähigkeit, bei geringerer Dosierung funktionelle Veränderungen herbeizuführen, die nicht zum Absterben führen.

Zur Anwendung gelangen in der Strahlentherapie Röntgen-Strahlen, natürliche radioaktive Substanzen (Radium) und künstlich radioaktive Isotope (z. B. Jod 131, Phosphor 32, Yttrium 90).
Die Problematik der S. liegt in der Notwendigkeit, das kranke Gewebe oder Organ unter weitgehender Schonung des gesunden Gewebes zu treffen. Dies führte zur Entwicklung verschiedener Methoden und Geräte.
Die Anwendung der S. sollte i. a. Fachärzten mit entsprechender Ausbildung vorbehalten sein. [28]
engl.: radiation therapy *franz.: radiothérapie*

Strahlenwirkung, genetische, durch Strahleneinwirkung bedingte Änderung eines Erbmerkmals, s. Mutation. [28]
engl.: genetic effects of radiation
franz.: effets génétique du rayonnement

Strahlenwarngerät, ein Gerät, das bei Erreichung einer bestimmt festgelegten Dosis (z. B. Toleranzdosis) durch ein akustisches, optisches oder sonst leicht wahrnehmbares Signal bei Arbeiten mit strahlenden Substanzen (bzw. Röntgen-Röhren) an die Überschreitung dieser Dosis erinnert. [28]
engl.: radiation monitor
franz.: avertisseur (de radioactivité)

Strahlenwirkung, direkte und indirekte, in der Strahlenbiologie. Der Begriff der direkten und indirekten St. findet insbesondere in der Strahlenbiologie bei der Wirkung energiereicher Strahlen auf biologische Elementarpartikel (vor allem Phagen, Viren und Chromosomen) Anwendung. Man bezeichnet die St. als direkt, wenn die Schäden in den biologischen Elementarkörpern unmittelbar durch die ionisierenden Korpuskeln, welche durch den Elementarkörper hindurchgehen, erzeugt werden. Eine indirekte St. liegt vor, wenn in der Umgebung der Elementarkörper aktive Wassermoleküle oder Radikale gebildet werden, die zu dem Elementarkörper hindiffundieren und dort den biologischen Effekt einleiten. In wäßrigen Lösungen von Viren und Phagen kann man durch geringe Zusätze bestimmter Substanzen z. B. von Gelatine die indirekte Strahlenwirkung weitgehend unterdrücken. Es ist noch umstritten, in welchem Umfang bei den

höheren Organismen die St. auf den Zellkern und insbesondere auf seine Chromosomen eine direkte oder indirekte ist. Es besteht die Möglichkeit, daß unter bestimmten Bedingungen auch durch energiereiche Strahlen gebildete organische Peroxyde mit großen Diffusionswegen die biologischen Elementarkörper schädigen. [28]

engl.: effects of radiation

franz.: effet du rayonnement

Strahlenwirkung, genetische. Durch Einwirkung von Strahlen ausgelöste Änderungen der Erbmasse, d. h. Gen- oder Chromosomenmutationen. An verschiedenen pflanzlichen und tierischen Objekten wurde mit Sicherheit bewiesen, daß ionisierende Strahlen sowie Ultraviolett die Mutationsraten wesentlich erhöhen, wobei alle bekannten, auch spontan auftretenden Mutationstypen erzeugt werden. Im Falle der Genmutationen ist die induzierte Mutationsrate direkt proportional der Strahlendosis und unabhängig von der Intensität der Bestrahlung. Räumlich dicht ionisierende Strahlen (α-Teilchen, Protonen u. a.) sind weniger wirksam als Röntgen- und γ-Strahlen. Energiereiche Strahlen lösen außerdem Chromosomenbrüche aus, die unter Umständen zu einer vom Ausgangszustand abweichenden Umlagerung, sog. Chromosomenmutationen, führen können. Nach neueren Untersuchungen und Abschätzungen sind beim Menschen 30 bis 50 r ausreichend, um die spontane Mutationsrate zu verdoppeln. Im Zusammenhang damit ist die Frage nach den sog. Toleranzkonzentrationen in ein neues Stadium der Diskussion gekommen. [28]

engl.: genetic effect of radiation

franz.: effet génétique du rayonnement

Lit.: H. J. Muller, The Nature of the Genetic Effects produced by Radiation in: Radiation Biology, Vol. I/1, McGraw-Hill, New York, 1954.

Strahlfänger. Durch die Experimentiereinrichtungen an den Strahllöchern eines Reaktors wird meistens nur ein kleiner Teil des Neutronenflusses ausgenutzt. Um zu verhindern, daß die Dosisleistung in der Reaktorhalle höher als zulässig ist, wird die nebenbei austretende Strahlung mit einem S. absorbiert. Zur Absorption der Gamma-Strahlung wird Blei verwendet,

für die der Neutronen Paraffin, Wachs oder Wasser. [17]

engl.: beam catcher
franz.: écran limiteur

Strahlung ist eine räumliche Energieausbreitung entlang bestimmten Linien, den S t r a h l e n. In einem homogenen Bereich, insbesondere im Vakuum, gehen von einer punktförmigen Strahlungsquelle die Strahlen g e r a d l i n i g nach allen Richtungen. Die Intensität der Strahlung nimmt dann, wenn keine Absorption stattfindet, mit dem Quadrat des Abstandes von der Strahlungsquelle ab.

Man unterscheidet W e l l e n - S. und K o r p u s k u - l a r - S., je nachdem die Energieausbreitung durch das Fortschreiten einer Welle oder durch entlang den Strahlen fliegende materielle Korpuskeln geschieht. Dieser Unterschied ist jedoch nicht so grundsätzlicher Natur, wie es nach der Benennung scheint, da alle Wellen-S.n auch Korpuskeleigenschaften und alle Korpuskular-S.n auch Welleneigenschaften haben (*Welle-Teilchen-Dualismus). Insbesondere ist die „Strahl"-Auffassung einer Strahlung nur näherungsweise möglich. Bei ungestörter Ausbreitung im Vakuum sind zwar die „Strahlen" auch bei Wellen-S.n definiert als die Linien, die überall auf den „Wellenflächen" senkrecht stehen. Sobald jedoch der S. Hindernisse in den Weg gestellt werden, deren Größe oder Strukturelemente mit der Wellenlänge vergleichbar sind, tritt B e u g u n g ein, und das Strahlenbild versagt. In diesem Fall kann die S. nur noch durch ein Wellenfeld beschrieben werden, a u c h bei Korpuskularstrahlen (Materiewellen; Wellenmechanik), bei denen man dann (innerhalb des Beugungsgebietes) nicht mehr von Teilchenbahnen reden kann.

Die wichtigste Art von Wellen-S. ist die elektromagnetische S., zu der die Radiowellen, Wärme-, Licht- und Ultraviolettstrahlen, R ö n t g e n - Strahlen und γ-Strahlen gehören, s. „Spektrum".

Korpuskularstrahlen sind: Elektronenstrahlen (β-Strahlen), Positronenstrahlen (β^+-Strahlen), Mesonenstrahlen, Neutronenstrahlen, Protonenstrahlen, Deuteronenstrahlen, α-Strahlen, aber auch andere Ionen-

strahlen, Atomstrahlen und Molekularstrahlen. Näheres bei den einzelnen Strahlenarten.
Im Rahmen der klassischen Physik sind Wellenstrahlen dadurch definierbar, daß die ihnen zugeordneten Korpuskeln (*Strahlungsquanten) die Ruhmasse Null haben, die Korpuskeln der Korpuskularstrahlen aber eine von Null verschiedene Ruhmasse. (Das Neutrino beachtet man hierbei gewöhnlich nicht.) Damit hängt unmittelbar zusammen, daß alle elektromagnetischen Wellenstrahlen im Vakuum unabhängig von ihrer Wellenlänge dieselbe Ausbreitungsgeschwindigkeit, die Lichtgeschwindigkeit (299 793 km/s) besitzen, wogegen die Korpuskeln der Korpuskularstrahlen (auch bei beliebig hoher Bewegungsenergie!) stets unterhalb der Lichtgeschwindigkeit bleiben, wenn sie ihr bei den energiereichsten Korpuskularstrahlen (in kosmischer Strahlung, Synchroton, Betatron) auch äußerst nahe kommen. [1]
engl.: radiation *franz.: rayonnement*

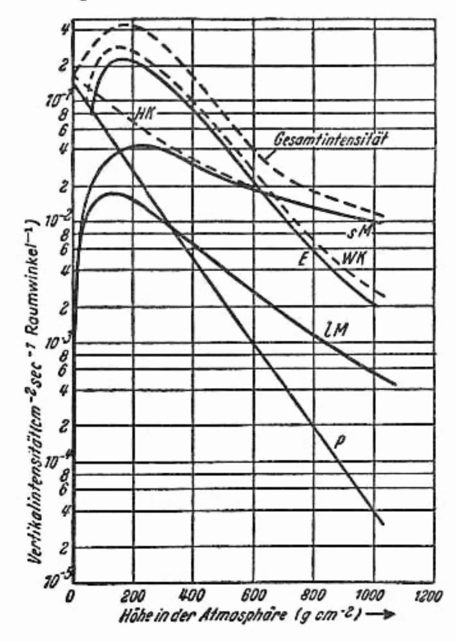
Strahlung, charakteristische, s. Nachtrag.

Strahlung, kosmische. Als Entdecker der k. S. gelten Heß und Kolhörster, die im Jahre 1913 unabhängig voneinander Beobachtungen über eine Ionisation in der Atmosphäre machten, die mit der Höhe zunahm. Man weiß heute, daß eine aus dem Kosmos kommende Strahlung in der Lufthülle der Erde recht verwickelte Sekundär- und Tertiärprozesse auslöst. Es ist üblich geworden, diese Strahlung einschließlich all ihrer Folgeprodukte als k. S. oder Ultra- oder Höhenstrahlung zu bezeichnen, ohne Rücksicht darauf, daß die Folgeprodukte durchaus irdischen Ursprungs sind, und lediglich die Ursache ihrer Erzeugung auf wirkliche k. S. zurückgeht. Diese k. S. im engeren Sinne nennt man die Primärstrahlung oder Primärkomponente der Gesamterscheinung. Sie besteht aus Nukleonen.
Die Energie, die der Erde durch die k. S. zugeführt wird, entspricht etwa der Lichtintensität des Nachthimmels. Die Verteilung der Energie erfolgt jedoch auf wenige Teilchen, wodurch ganz extreme Energien auf einzelne Teilchen entfallen. Die geringsten Energien liegen um 10^9 eV, die höchsten Energien reichen

bis 10^{17} eV hinauf. Diese Energien sind im Vergleich zu den Energien, die die Elementarteilchen beim Aufbau der Materie verbinden, sehr groß. Die Teilchen der primären k. S. zertrümmern daher alle Atome und Atomkerne, auf die sie treffen. Sie erzeugen in der Nebelkammer und auf der photographischen Platte die sog. „*Sterne".
Bei der Wechselwirkung der Primärstrahlung mit Atomkernen entstehen neue Elementarteilchen, die *Mesonen, vor allem die π-Mesonen. Das spielt sich im wesentlichen in einer Höhe von 25 bis 16 km über dem Erdboden ab. Die Mesonen sind instabil und zerfallen, wenn sie eine elektrische Ladung tragen, schließlich in Elektronen und Neutrinos; soweit sie neutral sind, gehen sie in Photonen über. Die langlebigsten dieser Mesonen, die μ-Mesonen, bilden in weiten Bereichen der Atmosphäre einen großen Teil der Intensität der Gesamtstrahlung, insbesondere in der Nähe des Erdbodens und innerhalb der Erde. Die Energien der μ-Mesonen auf Meereshöhe liegen zwischen 10^8 und 10^{12} eV. Diese Gruppe von Teilchen bezeichnet man als *Mesonenkomponente.
Die Elektron-Photon-Komponente kommt auf mehrere verschiedene Arten zustande. Die erste Gruppe bilden die Zerfallselektronen. Sie entstehen aus dem Zerfall der μ-Mesonen und sind durchweg energiearm. Die Zerfallselektronen stehen mit der Komponente der μ-Mesonen im Gleichgewicht. Die zweite Quelle besteht in dem oben erwähnten Zerfall der neutralen π-Mesonen. Ihr Energiespektrum reicht von 10^8 eV bis 10^{12} eV. Sie bewirkt 90–95 % der Elektron-Photon-Komponente. Elektronen und Photonen mit Energien oberhalb 10^8 eV erzeugen mehr oder weniger große *Schauer. Die einzelnen Schauer sind in der Atmosphäre in der Regel nicht zu isolieren; Ausnahmen bilden lediglich die extremen „großen Luftschauer", die aber nur zum geringen Teil auf den Zerfall von π^0-Mesonen zurückgehen dürften, sondern ihre Quelle in erster Linie in den *Anstoßprozessen und der *Bremsstrahlung der primären Nukleonen haben. Derartige Luftschauer haben Energien bis zu 10^{15} oder 16^{16} eV hinauf. Anstoßprozesse und Bremsstrahlung treten

(neben Elektronen) nicht nur bei Nukleonen, sondern auch bei den μ-Mesonen in charakteristischer Weise auf. Allerdings ist der entstehende Schauer wegen seiner Seltenheit und der nicht extrem hohen Energie nur dort nachweisbar, wo die Mehrzahl der durch π^0-Mesonen erzeugten Elektronen und Photonen absorbiert ist. Das ist in der Nähe des Erdbodens und im Erdboden der Fall.

Abschließend ist noch auf die Komponente der energiearmen Neutronen hinzuweisen, s. Neutronenkomponente. Diese entsteht aus den Kernzertrümmerungen, den sog. *Sternen. Die Energie liegt um oder unter 10^8 eV. Da Neutronen keine Ladung tragen, durchsetzen sie trotz der geringen Energie große Schichten der Atmosphäre.



Die Abb. gibt die Intensität der wesentlichen Komponenten in der Atmosphäre wieder (*P* Protonen und

Neutronen, lM langsame μ-Mesonen, sM schnelle μ-Mesonen, E Elektronen; WK Gesamtintensität der weichen Komponente $E + lM$; HK Gesamtintensität der harten Komponente $P + sM$).

Die wesentlichen Hilfsmittel bei der Untersuchung der k. S. sind das Zählrohrteleskop, die *Ionisationskammer, *Nebel- und *Blasenkammer sowie die für kernphysikalische Zwecke besonders geschaffene Photoplatte mit einem hohen Gehalt an Bromsilber in der Gelatineschicht, s. Photoschichtspuren. [7]

engl.: cosmic radiation *franz.: radiation cosmique*

Lit.: W. Heisenberg, Vorträge über kosmische Strahlung, Springer, Berlin, 1953.

Strahlung, monochromatische, s. Nachtrag.

Strahlungsabsorption, die Absorption einer Strahlung beim Durchgang durch Materie. Die gesamte Schwächung einer Strahlung beim Durchgang durch Materie hat meist zwei Ursachen. Ein Teil der Strahlung wird aus der ursprünglichen Richtung abgelenkt (gestreut), und geht dadurch für die Intensität des in der ursprünglichen Richtung weitergehenden Strahls verloren. Einen weiteren Beitrag zur Schwächung liefert die echte Absorption.

Bei Korpuskularstrahlen aus geladenen Teilchen (Elektronenstrahlen, Ionenstrahlen) erfolgt die Schwächung überwiegend durch allmählichen Energieverlust jedes einzelnen Teilchens durch die *Ionisierung der durchquerten Atome bis zur völligen Abbremsung. Da schwere Teilchen nicht nennenswert gestreut werden, haben alle eine gemeinsame Reichweite. Die Reichweite hängt nur von der Art des Teilchens, seiner Anfangsenergie und von der Art des durchsetzten Stoffes ab. Als Folge der Streuung haben Elektronen gleicher Energie keine ausgeprägte gemeins. Reichweite. Ungeladene Teilchen (z. B. Neutronenstrahlen) können nicht ionisieren. Sie sind daher i. a. (Ausnahmen: Stoffe wie Kadmium und Bor) außerordentlich viel durchdringender. Bei ihrer Schwächung spielt die Streuung eine ausschlaggebende Rolle. Sie haben daher keine wohldefinierte Reichweite.

Bei den Wellenstrahlen (Licht, γ-Strahlen), sind die genaueren Verhältnisse je nach Wellenlängenbereich

und Material des absorbierenden Stoffes sehr verschieden. In allen Fällen jedoch wird bei ihnen die Schwächung der Intensität I von der Anfangsintensität I_0 bei Durchlaufen einer Schichtdicke s von Materie in einem weiten Gebiet durch eine Exponentialfunktion

$$I = I_0 \, e^{-\mu s}$$

dargestellt, wobei die Größe μ der Schwächungskoeffizient genannt wird. Auch bei Aufteilung der gesamten Schwächung in die Streuung und die wahre Absorption gilt für jeden Anteil ein Exponentialgesetz der obigen Form. Bei einer Wellenstrahlung gibt es daher keine scharf begrenzte Reichweite. Man kann nur etwa $1/\mu$ als „mittlere Reichweite" definieren: es ist die Strecke, auf welcher die Intensität der Strahlung auf $1/e$ ihres ursprünglichen Wertes abnimmt. [1]

engl.: absorption of radiation

franz.: absorption du rayonnement

Strahlungsakkumulator, Vorrichtung zur Ausnutzung der radioaktiven Strahlungsenergie als elektrische Energie durch strahlungschemische reversible Vorgänge im Innern des Akkumulators (s. Atombatterie). [16]

engl.: atomic energy accumulator

franz.: accumulateur nucléaire

Strahlungsanalyse, a) Zerlegung der Strahlung in ihre Komponenten, wie Gamma-, Beta-, Alpha-, Neutronenstrahlung, oder b) Bestimmung der Energieverteilung.

Strahlenanalytische Methoden sind die *Absorptionsanalyse, *Impulshöhenanalyse, Laufzeitmessung von Neutronen, Ablenkung im elektrischen und magnetischen Feld. [16]

engl.: radiation analysis

franz.: analyse du rayonnement

Strahlungseinfang bezeichnet den Einfang eines Teilchens, meist eines Neutrons, durch einen Atomkern unter Aussendung eines γ-Quants. Wenn man Einfang grundsätzlich als eine Absorption unter Emission von γ-Quanten definiert, was zu empfehlen ist, ist der Begriff eine Tautologie. [7]

engl.: radiative capture　　*franz.: capture radiative*

Strahlungseinheit ist diejenige Strecke, auf der die Energie eines relativistischen Elektrons durch Erzeugung von Photonen (s. Bremsstrahlung) im Mittel auf den e-ten Teil absinkt. Die S. wird bei allen Rechnungen über Elektronenkaskaden benutzt. Die Größe der S. in cm oder in g/cm² ist abhängig von der Art der durchsetzten Materie. [7]

engl.: radiation unit

franz.: parcours d'absorption unitaire (par émission de rayonnement)

Strahlungsemission eines Plasmas. Betrachtet sei eine Wasserstoffatmosphäre mit hohem Ionisationsgrad (*Plasma) und so starker Verdünnung, das Selbstabsorption vernachlässigt werden kann. Die S. ist dann ein reiner Verlust an Energie aus dem System. S. erfolgt durch drei verschiedene Prozesse: diskret-diskret, frei-diskret (Rekombination) und frei-frei (*Bremsstrahlung) Übergänge.

Die gesamte emittierte Strahlung bei diskret-diskret Übergängen vom Quantenzustand n zum Zustand n' ist

$$S_{n n'} = n_e^2 \frac{K b_n}{T_e^{3/2}} \frac{2 g h R}{n^2 n'^3} \exp\left(\frac{h R}{n^2 k T}\right), \quad [\mathrm{erg\ cm^{-3}\ s^{-1}}] .$$

Wenn b_n schwächer als mit n^3 wächst, folgt die meiste Strahlung aus dem Übergang von $n = 2$ zu $n = 1$. Es ist dann

$$S_{21} = 1{,}783 \cdot 10^{-17} \frac{n_e^2}{T_e^{3/2}} g b_2 \exp\left(\frac{0{,}395 \cdot 10^5}{T}\right), \quad [\mathrm{erg\ cm^{-3}\ s^{-1}}] ,$$

wobei n_e die Elektronendichte, T_e die Elektronentemperatur und $g b_n$ ein Faktor für die Übergangswahrscheinlichkeit ist. $g b_2$ kann hier näherungsweise $= 1$ gesetzt werden.

Die S. infolge frei-diskret Übergängen ergibt sich zu

$$S_{c-n} = \frac{n_e^2 2^9 \pi^{7/2} e^{10}}{6^{3/2} m_e c^3 h^2} \left(\frac{m_e}{k T_e}\right)^{1/2} \cdot 1{,}20 ; \quad [\mathrm{erg\ cm^{-3}\ s^{-1}}] ,$$

$$= 0{,}535 \cdot 10^{-21} n_e^2 T_e^{-1/2} ,$$

und für f r e i - f r e i Übergänge zu

$$S_{c-c} = n_e^2 \frac{2^7 \pi^3}{(6\pi)^{3/2}} \left(\frac{k T_e}{m_e}\right)^{1/2} \frac{e^6}{h c^3 m_e} ; \quad [\text{erg cm}^{-3}\,\text{s}^{-1}] ,$$

$$= 1{,}417 \cdot 10^{-27}\, n_e^2\, T_e^{1/2} .$$

Aus den hier angegebenen Gleichungen ist ersichtlich, daß oberhalb einer Elektronentemperatur T_e von $3{,}77 \cdot 10^5$ °K die S. durch frei-frei Übergänge vorherrscht. Im Bereich $6{,}25 \cdot 10^4 \leq T_e \leq 3{,}77 \cdot 10^5$ °K wird die S. durch frei-diskret Übergänge bestimmt. Unterhalb dieser Temperatur herrscht Termstrahlung (diskret-diskret Übergänge) vor.

Die obigen Gleichungen eignen sich für eine Betrachtung der S. bei konstanter Teilchendichte. Bei konstantem Druck kann man näherungsweise $p = n k T$ (k B o l t z m a n n - Konstante) setzen. Für den Fall eines Wasserstoffplasmas ist die S. in der Abb. 1 für konst. Druck gezeigt.

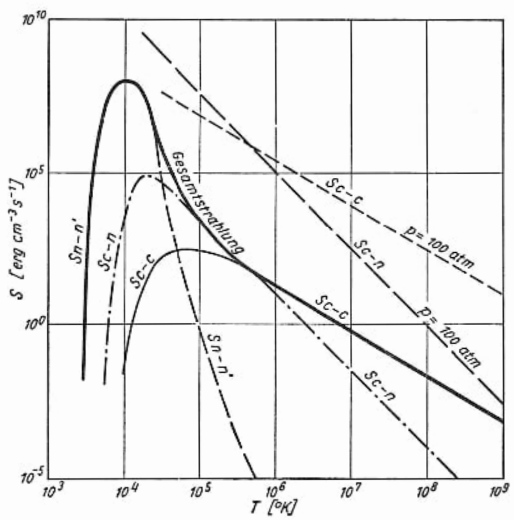


Abb. 1. Strahlungsemission eines Wasserstoffplasmas bei $p = 1$ atm mit Vergleichswerten für Brems- und Rekombinationskontinuum bei $p = 100$ atm.

Die S. ist u. a. von Bedeutung für Versuche zur Zündung von thermischen *Fusionsprozessen. Da bei den

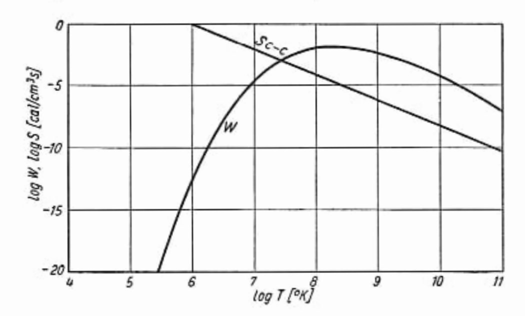


Abb. 2. Energieproduktion W für die Reaktion $D^2(t,n)He^4$ und Ausstrahlung S_{C-C} eines Wasserstoffplasmas infolge frei-frei Übergänge (Elektronen-Bremskontinuum) bei einem Druck von $p = 1$ atm.

hier erforderlichen Temperaturen die S. den wesentlichen Energieverlust ausmacht, muß das Plasma auf eine Temperatur aufgeheizt werden, bei der die S. kleiner als die thermonukleare Energieproduktion wird (s. Abb. 2). Im Falle der $D(t,n)He^4$-Reaktion ist dies etwa $4 \cdot 10^7$ °K. [27]

engl.: radiative emission of a plasma

franz.: rayonnement d'un plasma

Lit.: A. Unsöld, Physik der Sternatmosphären, Springer, Berlin, 1955. – E. N. Parker, Astrophys. Journ. 117, 431 (1953). – D. H. Menzel, Astrophys. Journ. 85, 333 (1937). – G. Cillie, Month. Not. 92, 822, 830 (1932). – W. Finkelnburg u. H. Maecker, Handbuch d. Physik, Bd. XXII: Gasentladungen II, Springer, Berlin, 1956.

Strahlungserwärmung. Durchdringt eine Strahlung Materie, so wird ein Teil davon unter Umwandlung der Strahlungsenergie absorbiert. Ein Maß für die Größe des Energieverlustes der Strahlung ist der *Schwächungskoeffizient μ vermindert um den Anteil, der sich auf elastische Streuung bezieht. So sind z. B. bei Röntgen-Strahlen der Streukoeffizient für kohärente und inkohärente Streuung sowie gegebenenfalls der Koeffizient für die charakteristische Röntgen-Strahlung und die Ruheenergie beim Paarbildungsprozeß von μ abzuziehen. Bei Neutronen sind die elastische Streuung und die unelastische Streuung

(jeweils Beträge der Energie nach dem Streuprozeß) abzuziehen. Die Berechnung der S. ist formal gleich der der Schwächung von Strahlung in Materie. [26]
engl.: heat generation by radiation
franz.: chauffage par rayonnement

Strahlungsinhalt einer radioaktiven Substanz, gesamte Anzahl A an radioaktiven Umwandlungen, deren die Substanz fähig ist, demnach bei einer Substanz mit einem einzigen strahlenden Isotop von der Halbwertszeit T und einer augenblicklichen Aktivität A_0:

$$A = A_0 \int_0^\infty e^{-\ln 2 \cdot t/T} \, dt = A_0 \, T \cdot \frac{1}{\ln 2} \, .$$

Seine Dimension ist „Umwandlungen" oder „Aktivität · Zeit". Oftmals gebraucht man an Stelle des exakten Wertes $A_0 \cdot T/\ln 2$ nur das einfache Produkt aus Aktivität und Halbwertszeit. Der Begriff ist eigentlich entbehrlich.
Bei Verwendung von offenen radioaktiven *Präparaten mit einem S. oberhalb 10 mC · d wird die Benutzung eines radioaktiven *Laboratoriums empfohlen.
Die Qualität der Strahlung ist durch den Begriff des S.s nicht berührt. [16]
engl.: radiation content *franz.: potentiel radiatif*

Strahlungskanal, besser Strahlenkanal, s. Experimentierkanäle.

Strahlungsleistung der Spaltprodukte ist die kinetische Energie der Elektronen, γ-Quanten und Rückstoßkerne, die beim radioaktiven Zerfall der Spaltprodukte je Sekunde frei wird. Sie wird praktisch vollständig in Wärme umgewandelt und liefert einen merkbaren Beitrag zur Wärmeerzeugung eines Reaktors nach dem Abschalten.
Sie hängt von der Bestrahlungszeit des Urans T_0, der Abfallszeit T der Spaltprodukte und der Leistung P_0 des Reaktors ab.
Die folgende Formel von Untermeyer und Weills gibt die zeitliche Abhängigkeit der Wärmeentwicklung P durch die Strahlung der Spaltprodukte

$$\frac{P}{P_0} = 0{,}1 \left\{ (T - 10)^{-0{,}2} - 0{,}87 \, (T - 2 \cdot 10^7)^{-0{,}2} \right\}$$

$- 0{,}1 \{(T - T_0 + 10)^{-0{,}2} - 0{,}87\,(T + T_0 + 2 \cdot 10^7)^{-0{,}2}\}$.
Diese Formel gilt von $T = 1$ bis $T = 10^8$ s.
Der Anteil der γ-Strahlung an dieser Leistung beträgt etwa 0,65. [7, 17]
engl.: radiation power
franz.: puissance de radiation

Strahlungsquant, svw. Photon.
engl.: light quantum
franz.: quantum de rayonnement

Strahlungsschäden, s. Strahlenschäden.

Strahlungsstabilität. Unter St. versteht man die Resistenz chemischer Verbindungen unter der Einwirkung ionisierender Strahlen. Die St. hängt im wesentlichen von der Art und dem molekularen Aufbau der Verbindung ab. Bestimmte Atome absorbieren größere Beträge auf Grund ihrer physikalischen Eigenschaften, an sie werden deshalb größere Energien abgegeben, z. B. Halogenen bei Halogenkohlenwasserstoff. Der Bau der Verbindung hat einen sehr großen Einfluß auf die S. Aromatische Verbindungen besitzen bewegliche Elektronen, die leicht anzuregen sind. Die Anregungspotentiale liegen infolge der Resonanzenergie tiefer, so daß bei Aufnahme von Energie nicht unbedingt eine Bindung gespalten werden muß. Solche Verbindungen können ihre aufgenommene Energie in Form von Fluoreszenzstrahlung wieder abgeben. Man hat gefunden, daß Stoffe, die große Fluoreszenzausbeuten besitzen, auch sehr strahlungsstabil sind, z. B. Terphenyl, das große Anwendung als Leuchtstoff bei Szintillationszählern gefunden hat. Als Maßzahl für die St. kann man den *G-Wert heranziehen, der auf eine bestimmte Reaktionsart bezogen werden muß, auf die Wasserstoffbildung $G(H_2)$, auf Polymerisation G(Poly) oder auf Methanabspaltung $G(CH_4)$. Der G-Wert kann aber auch auf die Zersetzung eines Stoffes A bezogen werden und man schreibt dann G(—A). Je geringere Werte G annimmt, desto größer ist die St. [18]
engl.: radiation stability
franz.: stabilité sous rayonnement, sous irradiation

Strahlungssterilisierung, Kaltsterilisierungsverfahren, bei dem durch intensive Bestrahlung, meist durch Gammastrahlen, der behandelte Körper keimfrei ge-

macht wird. Die Strahlungssterilisierung ist besonders von Vorteil bei Stoffen, die unter chemischer oder Temperatursterilisierung Schaden leiden. [16]
engl.: radiation sterilization
franz.: stérilisation par irradiation

Strahlungsüberwachung, Gesamtheit aller Überwachungseinrichtungen bezüglich der Einhaltung der Toleranzwerte von direkten Einstrahlungen und radioaktiven Verseuchungen. Zur Erfüllung ihrer Sicherheitsfunktion muß die S. außer dem eigentlichen Reaktor im allgemeinen auch die übrige Reaktorstation und die nähere Umgebung mit erfassen. Man unterscheidet normalerweise folgende Überwachungsbereiche: a) Reaktor und seine Hilfskreisläufe, b) Reaktorhalle und Betriebsgebäude, c) Reaktorstation und Umgebung, d) Ausströmung (flüssig oder gasförmig) aus der Station, e) Personenschutz. Der erste Bereich umfaßt vorwiegend den reinen Nachweis von Verseuchungen und deren Lokalisierung, während die übrigen genaue Messungen der Strahlungsdosen bzw. Verseuchungskonzentrationen erfordern. Hier werden deshalb neben festen Warngeräten häufig auch transportable Geräte verwendet, die an Gefahrenpunkten eingesetzt werden können (besonders bei d)). Im Bereich b) und evtl. auch c) wird außerdem eine individuelle S. jeder einzelnen Person mit Film- und Taschendosimetern durchgeführt. Weiteres s. u. Strahlengefahren u. nukl. Meßgeräte [9]
engl.: radiation survey
franz.: contrôle du rayonnement
Lit.: S. Glasstone, Principles of Nuclear Reactor Engineering, D. van Nostrand Comp., New York, 1955.

Strahlungsuntergrund, 1. *Raumstrahlung, 2. *Nulleffekt.
engl.: radiation background
franz.: comptage parasite, bruit de fond

Strangguß, Kontinuierliches Gießverfahren, bei dem das flüssige Metall in eine kurze, wassergekühlte Kokille gegossen wird, deren Boden durch das erstarrte Metall selbst gebildet wird, das durch eine Transportvorrichtung in dem Maße nach unten weggezogen wird, wie oben neue Schmelze zufließt. [4]
engl.: continuous casting *franz.: coulée continue*

Strangpressen, Warmverformungsverfahren zur Herstellung von Stangen mit beliebigem Profil. Das zu verpressende blockförmige Material wird in einem Rezipienten eingesetzt und bei erhöhter Temperatur mit Hilfe eines Stempels durch eine Düse entsprechenden Querschnitts gepreßt. [4]
engl.: extrusion
franz.: filage

Streckgrenze, s. Zugversuch.
engl.: yield point
franz.: limite d'élasticité

Streufehler, Meßfehler bei radioaktiven Messungen, der sich in einer Erhöhung der gemessenen spezifischen Aktivität des Präparates mit zunehmender Präparatdicke äußert. Ursache: Streuung und Quantenvervielfachung. Der S. erreicht bei Probendicken von einigen Prozenten der Reichweite der Strahlung sein Maximum. Der S. kann bei Betastrahlern bis zu 20 % betragen. [16]
engl.: scattering error
franz.: erreur par diffusion
Lit.: Cook u. Duncan, Modern Radiochemical Practice, Oxford, 1952.

Streuformel. a) B o r n sche S. Während die R u t h e r f o r d sche S. (s. u.), die die Streuung geladener Partikel an einem nackten Atomkern beschreibt, durch eine exakte quantenmechanische Rechnung gewonnen werden kann, ist die Erweiterung der S. auf Atome mit Elektronenschalen nur durch Störungsrechnung möglich. Benutzt man dabei die B o r n sche Näherung, indem man die Wechselwirkungsenergie als klein gegenüber der kinetischen Energie behandelt, so kommt man auf die B o r n sche S. – Ein Strom von geladenen Teilchen der Masse m und der Ladung z bewege sich mit der Geschwindigkeit $\mathfrak{v}$ in Richtung auf ein Atom der Masse M und der Kernladungszahl Z. Die elektrische Wechselwirkung mit dem Atom bewirkt eine Ablenkung um den Winkel Θ. Vernachlässigt man die Wechselwirkung mit der Elektronenhülle, so bekommt man für die Ablenkung die R u t h e r f o r d sche S. Führt man im Potential $V(r)$ dagegen neben der Kern-

wechselwirkung noch eine solche mit der Elektronenhülle in der Form

$$V(r) = -\frac{Z z e^2}{r} + z e \int \frac{\varrho(r')\,\mathrm{d}r'}{|\mathfrak{r} - \mathfrak{r}'|}$$

ein, so wird der differentielle Wirkungsquerschnitt ($m \ll M$)

$$\mathrm{d}Q = \frac{z^2 e^{\varphi}}{\varphi\, m^2 v^4} \left[Z - F(\Theta)\right]^2 \frac{\mathrm{d}\Omega}{\sin^4 \Theta/2} \,.$$

$F(\Theta)$ ist der Atomformfaktor. Dafür gilt

$$F(\Theta) = 4\pi \int_0^\infty \varrho(r) \cdot \frac{\sin K r}{K r}\, r^2\,\mathrm{d}r$$

mit

$$K = \frac{4\pi}{h} \sin \Theta/2 \cdot m v \,.$$

$F(\Theta)$ ist für die interessierenden Werte von K für alle Elemente tabuliert. – Die hier angegebene B o r n sche S. ist in mehrfacher Hinsicht zu verfeinern. Man kann z. B. $m \approx M$ zulassen, relativistische Effekte studieren und die elastische Streuung durch unelastische Streuung (Anregung des Atoms) ergänzen.

b) M o t t sche S. Die M o t t sche S. ist eine Verbesserung der R u t h e r f o r d schen S. (s. u.), wenn bei der Streuung ein Austausch der beiden Streupartner zu berücksichtigen ist. Das ist nach den Gesetzen der Quantenmechanik immer notwendig bei der Streuung gleicher Teilchen aneinander, also z. B. bei der Streuung von α-Teilchen an Helium-Kernen oder bei der Streuung von Protonen an Wasserstoffkernen. In diesem Fall ergibt die quantenmechanische Rechnung nach M o t t bemerkenswerte, charakteristische Abweichungen von der R u t h e r f o r d schen Verteilung, die von der Erfahrung bestens bestätigt sind. Diese sind in den Abb. 1 und 2 dargestellt in der Form des Verhältnisses der quantenmechanischen, M o t t schen Streuintensität zu der klassischen R u t h e r f o r d schen Streuintensität. Für den Fall, daß die reagierenden Teilchen durch eine antisymmetrische Eigenfunk-

tion beschrieben werden müssen, z. B. bei der Streuung von Protonen an Wasserstoffkernen, gilt Abb. 1, im Falle der symmetrischen Eigenfunktionen, also etwa

Streuformel

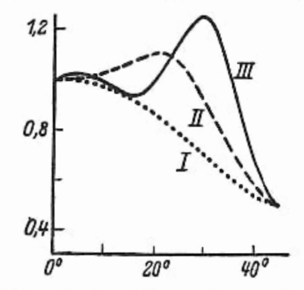


Abb. 1. Verhältnis der Mottschen Streuintensität zur Rutherfordschen Streuintensität bei Gültigkeit des Antisymmetrieprinzips für verschiedene Relativgeschwindigkeiten der beiden Teilchen

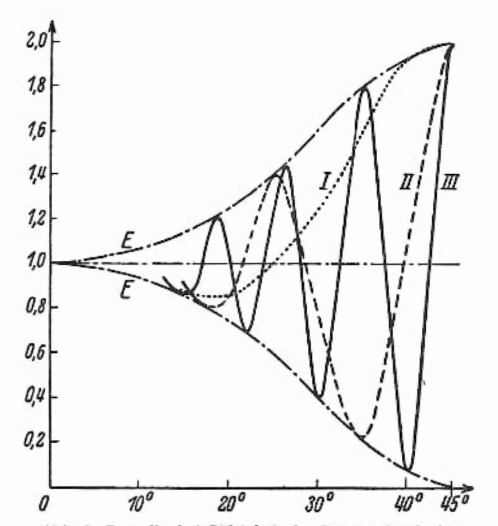


Abb. 2. Dasselbe bei Gültigkeit des Symmetrieprinzips

bei der Streuung von α-Teilchen an Heliumkernen oder von Deuteronen an Deuteronen, gilt Abb. 2. Die ver-

schiedenen Kurven beziehen sich auf verschiedene Relativgeschwindigkeiten der stoßenden Teilchen.

c) Rutherfordsche S. Sie bildet historisch gesehen das Fundament des Bohrschen Atommodells. Es handelt sich um die mathematische Beschreibung der Streuung von α-Teilchen an Atomkernen auf Grund des Coulomb-Feldes, die Rutherford 1911 experimentell untersuchte (s. Streuung der α-Teilchen). Die Streuung des α-Teilchens der Ladung $2e$ an einem Kern der Ladung Ze berechnet Rutherford rein klassisch. Der differentielle Wirkungsquerschnitt dafür, daß ein α-Teilchen unter dem Winkel Θ von seiner ursprünglichen Bahn abgelenkt wird, ist

$$dQ = \left(\frac{e^2 Z}{M v^2}\right)^2 \frac{d\Omega}{\sin^4 \Theta/2} .$$

$d\Omega$ markiert die Größe des Raumwinkels bei dem Winkel Θ. M ist die Masse des α-Teilchens, v seine Geschwindigkeit. Der Kern ist als unendlich schwer angenommen. Die Formel ist auch vom quantenmechanischen Standpunkt aus exakt, vorausgesetzt, daß der streuende Kern und die gestreuten Partikel nicht identisch sind (s. Mottsche S.). Die Formel gilt natürlich unter entsprechender Abänderung der Zahlenfaktoren auch für die Streuung von Protonen und sonstigen Geschossen an Kernen. Sie gilt nicht mehr, wenn sich die stoßenden Teilchen so nahe kommen, daß Kernkräfte eine Rolle spielen. Die Abweichung besteht zunächst in einer Verminderung der Streuintensität gegenüber dem Rutherfordschen Wert. Bei wachsender Energie des einfallenden Teilchens erfolgt aber eine Erhöhung, die u. U. den Rutherfordschen Wert weit überschreiten kann. [7]

engl.: scattering formula

franz.: formule de diffusion

Lit.: Mott u. Massey, The Theory of Atomic Collisions, 2. Aufl., Oxford, 1950.

Streuquerschnitt, der *Wirkungsquerschnitt eines Atomkerns (Atoms) für die Streuung eines anderen Teilchen. [1]

engl.: scattering cross section

franz.: section efficace de diffusion

Streustrahlung. Die gestreute Röntgen-Strahlung bzw. gestreute γ-Strahlung wird unter dem Begriff S. zusammengefaßt. Infolge Wechselwirkung primärer Röntgen-Strahlung mit Materie beobachtet man in dieser direkt bzw. indirekt ausgelöste Sekundär- bzw. Tertiär-, Quartär- etc. Strahlung sowie infolge Compton-Effekt gestreute Primärstrahlung, s. Störstrahlung. [28]
engl.: diffuse radiation
franz.: rayonnement diffus

Streuung. Zunächst wird mit S. die Tatsache bezeichnet, daß ein in einer bestimmten Richtung laufender, scharf gebündelter Strahl irgendeiner Strahlung, wenn er durch Materie dringt, Teile seiner Intensität in alle möglichen anderen Richtungen abgibt. Die nach anderen Richtungen zerstreute Intensität (Streustrahlung) geht dem ursprünglichen Strahl verloren. Er erleidet also (auch ohne eigentliche Absorption!) durch die S. eine Schwächung (s. Absorptionskoeffizient).
Die Wechselwirkung der Strahlung mit einem einzelnen „Streuzentrum" (Atom oder Atomkern) wird selbst auch als S. oder genauer als Einzel-S. bezeichnet. Im Korpuskelbild stellt sie sich als Richtungsänderung eines im Strahl fliegenden Teilchens um den „Streuwinkel" dar, die mit Impulsübertragung auf das Streuzentrum verbunden ist (elastische S.). Bei der unelastischen S. wird am Streuzentrum innere Arbeit geleistet, z. B. durch Anregung oder Ionisation eines streuenden Atoms oder durch Anregung oder Umwandlung eines streuenden Atomkerns. [1]
engl.: scattering
franz.: diffusion

Streuwahrscheinlichkeit (differentielle S.), die Wahrscheinlichkeit dafür, daß ein Neutron der Energie E' durch Streuung an einem Atomkern soviel Energie verliert, daß seine Energie nach dem Stoß im Intervall dE bei E liegt (s. Bremsgleichung). [13]
engl.: scattering probability
franz.: probabilité de diffusion

Streuweglänge λ_s ist die freie Weglänge eines Teil-

chens zwischen zwei Streuakten. Sie ist umgekehrt proportional der Zahl der streuenden Kerne im cm^3 und dem Wirkungsquerschnitt für Streuung:

$$\lambda_s = \frac{1}{N \cdot \sigma_s}. \qquad [7]$$

engl.: scattering mean free path
franz.: parcours de diffusion

Streuwinkel, s. Streuung.
engl.: scattering angle
franz.: angle de diffusion

Strichfokus nennt man den *Brennfleck, der durch die besondere Art der Fokussierung der in der Röntgen-Röhre beschleunigten Elektronen auf dem Antikathodenmaterial die Form eines Striches hat. Da die Antikathode gegen die Strahlungsrichtung geneigt ist, entsteht hierdurch in der Projektion von der Strahlungsrichtung aus gesehen ein symmetrischer Brennfleck (insbesondere bei Drehanodenröhren gebräuchlich). [28]
engl.: line-focus *franz.: foyer linéaire*

Strip, engl. Bezeichnung für die wäßrige Lösung, die man zur Auswaschung extrahierter Stoffe aus dem organischen Extraktionsmittel in Extraktionskolonnen verwendet, s. Redox-Prozeß. [22]

Stromdichte der **Neutronen im Reaktor.** Sie ist in der üblichen Weise als Zahl der Teilchen, die in der Sekunde durch die Flächeneinheit hindurchgehen, definiert. Da man in der Reaktortheorie oft nicht von der Neutronendichte, sondern vom Fluß $\Phi = n \cdot v$ spricht, erscheint die S. in der Form

$$j = -D \cdot \mathrm{grad}\, \Phi,$$

wobei die *Diffusionskonstante nicht wie in der Gaskinetik üblich durch $^1/_3 \cdot v \cdot \lambda$, sondern durch $^1/_3 \cdot \lambda$ gegeben ist (s. a. Neutronendiffusion). [7]
engl.: flux density *franz.: densité de flux*

Strompreis. Die Stromerzeugungskosten (Pf/kWh) in einem kohlebeheizten Kraftwert (20 MW) verteilen sich wie folgt. Sie sind aufgegliedert in feste und bewegliche Kosten. Die S.e bei einem mit Kernenergie beheizten Kraftwerk hängen entscheidend vom Typ,

Standort und von Zeitbedingungen ab. Sie liegen heute durchweg über den Kosten der konventionellen Kraftwerke. Verbindliche, generell gültige Zahlen lassen sich daher hier nicht angeben. Es sei auf die Kostenberechnung unter Darstellung der jeweiligen Verhältnisse in den Genfer Berichten verwiesen. [7]

	fest	beweglich	Summe
Kohle	0,076	0,823	0,899
Bedienung	0,135	0,072	0,207
Reparatur	0,350	0,350	0,700
Hilfseinr. u. Verkehr	0,038	0,090	0,128
Werksgem.	0,193	—	0,193
Kapitalnutzung	1,340	—	1,340
Steuern	0,012	—	0,012
1,5 % Umspannkosten	—	0,052	0,052
10 % Gewinn	—	0,353	0,353
4 % Generalien	0,191	—	0,191
3 % Umsatzsteuer	—	0,126	0,126
	2,335	1,866	4,201

Lit.: Peaceful Uses of Atomic Energy, Bd. 1, Vereinte Nationen, Genf, 1955.

Strömung, laminare und **turbulente.** Bei kleinen Geschwindigkeiten findet man, daß sich die Flüssigkeit in nebeneinanderlaufenden Schichten und geordneter „laminarer" Strömung bewegt. Bei höheren Geschwindigkeiten schlägt die laminare Strömung jedoch in eine ungeordnete, von wirbelnden Mischbewegungen erfüllte, „turbulente" Strömung um. Genauere Untersuchungen zeigten, daß eine Strömung nicht durch die Geschwindigkeit w charakterisiert ist, sondern durch die dimensionslose „Reynolds-Zahl" $Re = w\,d/\nu$, wobei d eine kennzeichnende Länge und ν die kinematische Zähigkeit ist. Besitzen also zwei Strömungen dieselbe Reynolds-Zahl, so sind sie dynamisch ähnlich (Reynoldssches Ähnlichkeitsgesetz). Der Umschlag von der laminaren in die turbulente Strömungsform tritt daher bei einer bestimmten kritischen Reynolds-Zahl Re_{kr} ein. Für die Rohrströmung ist mit

d als Durchmesser $\mathrm{Re}_{kr} = 2320$. Unterhalb der kritischen Zahl 2320 bleibt die laminare S. bei allen Strömungen erhalten. Oberhalb dieser hat man einen gewissen Übergangsbereich zur turbulenten S., d. h. zur Erzeugung der turbulenten Strömung ist ein gewisser Störungsbetrag (z. B. Oberflächenrauhigkeit) notwendig, der um so kleiner ist, je größer Re ist. So konnte man z. B. in einem Versuchsrohr, bei dem alle störenden Einflüsse soweit wie möglich beseitigt wurden, die laminare Strömungsform bis zu einer Re-Zahl von 50 000 aufrechterhalten. Praktisch wird man jedoch wohl immer schon für $\mathrm{Re} > 3000$ voll ausgebildete Turbulenz erhalten. Ein wesentlicher Unterschied zwischen laminarer und turbulenter S. zeigt sich im *Druckverlust, dieser ist bei laminarer S. proportional zur Geschwindigkeit w, bei Turbulenz jedoch proportional zu w^2. Die Geschwindigkeitsverteilung in einem Kreisrohr ist bei laminarer S. parabolisch (Hagen, Poiseuille), bei turbulenter S. ist sie in der Nähe der Rohrachse wesentlich gleichmäßiger und fällt dementsprechend am Rande steiler ab. Die Geschwindigkeitsverteilung ändert sich (insbesondere bei laminarer S.), wenn die Flüssigkeit geheizt oder gekühlt wird, da dann die Stoffwerte infolge des Temperaturabfalls nicht mehr konstant sind. Dieser Einfluß ist bei der Berechnung von Wärmeübergangszahlen zu berücksichtigen, man behilft sich dort meist mit einer mittleren Bezugstemperatur.

Die laminare S. ist im Gegensatz zur turbulenten für eine einfache mathematische Behandlung zugänglich. Zur quantitativen Beschreibung der turbulenten S. wurde von Prandtl die sog. „Grenzschichttheorie" eingeführt. Bei sehr großer Reynolds-Zahl spielt die Zähigkeit in einer freien Strömung, d. h. in einigem Abstand von festen Wänden, eine untergeordnete Rolle. Nur in einer Grenzschicht entlang der Wände treten hohe Geschwindigkeitsgradienten und damit auch nicht zu vernachlässigende Schubspannungen auf. Die Grenzschicht läßt sich mit den sog. „Grenzschichtgleichungen" behandeln, während die übrige Strömung als reibungsfrei angesehen werden kann. Die Grenzschichttheorie ist u. a. für die Entwicklung von

halbempirischen Wärmeübergangsgleichungen wertvoll. Strömungen mit sehr kleinen Reynolds-Zahlen, bei denen die Zähigkeit gegenüber den Trägheitskräften überwiegt, werden „schleichende Bewegung" genannt. Sie bilden die Grundlage für die Berechnung des Wärmeübergangs bei freier *Konvektion. [5]

engl.: laminar flow bzw. *turbulent flow*
franz.: écoulement laminaire
bzw. *écoulement turbulent*

Lit.: L. Prandtl, Strömungslehre, 3. Aufl., Vieweg, Braunschweig, 1949. – H. Schlichting, Grenzschichttheorie, Karlsruhe, 1951.

Strömungen im Plasma. Da es sich beim Plasma um ein mehrkomponentiges Gas handelt, treten innerhalb desselben bei Nichtgleichgewichtsvorgängen Strömungen auf, wobei die mittlere Massengeschwindigkeit des gesamten Plasmas gleich Null oder verschieden von Null sein kann. Man bezieht zweckmäßigerweise diese Strömungen auf diese mittlere Massengeschwindigkeit. In der strengen kinetischen Gastheorie sind dies dann die Massenströme $\mathfrak{j}_r$ (r Laufzahl der Plasmakomponenten). Die zeitliche Variation derselben wird durch die *Gradsche Methode erfaßt (s. a. Transporterscheinungen im Plasma). Im Falle eines Plasmas ist insbesondere die Erzeugung und Beeinflussung solcher Strömungen durch elektrische und magnetische Felder von Interesse.
Hier hat man zunächst die Elektronen- und die Ionendrift, die in elektrischen Entladungen durch die Beschleunigung geladener Teilchen im angelegten äußeren elektrischen Feld entsteht. Insbesondere ist die Elektronendrift für die Aufnahme von Leistung aus dem äußeren Feld verantwortlich. Durch die *Reibungskraft wird dann von den Elektronen Energie an die anderen Plasmakomponenten übertragen. Ferner bildet sich bei den meisten stationären stromstarken Entladungen ein Kern sehr hoher Temperatur aus, in welchem eine makroskopische Plasmaströmung mit Geschwindigkeiten von mehreren 10^4 cm/s von der Kathode weg stattfindet. Diese Plasmaströmung ist der Ionendrift entgegengerichtet und kann unter Umständen die Ionenwanderung zur Kathode verhindern.
Ein Magnetfeld übt auf eine leitende Flüssigkeit

(Plasma) eine Kraft aus, die entweder den Druck erhöht (magnetischer Druck, s. Pinch-Effekt) oder eine Plasmaströmung erzeugt, oder aber beides bewirkt. Diese Kraft erscheint in den Bewegungsgleichungen des Plasmas (s. hydromagnetische Gleichungen). Die Kontinuitätsgleichung gibt Aufschluß über diese Aufteilung. Bei stromstarken Entladungen wird meistens ein starker Druckanstieg und eine Kontraktion des Plasmas (s. Pinch-Effekt) beobachtet. Zeigt die Plasmasäule eine Ausweitung, so entsteht eine durch das Magnetfeld verursachte Plasmaströmung. Diese wurde in elektrischen Entladungen als Folge eigenmagnetischer Kompression beobachtet.

Zwar wurden in der Astrophysik bisher bereits solche Strömungen in Plasmen berücksichtigt, insbesondere die Bewegungen in den Sonnenflecken im Zusammenhang mit starken Magnetfeldern, vertikale Bewegungen in der Granulation, die Bewegungsmechanismen der Fackeln und Protuberanzen u. a., jedoch ist die *Magnetohydrodynamik, die solche Vorgänge systematisch studiert, erst ralativ neuen Datums. Nach den Erkenntnissen der letzten Jahre spielen Stoßwellen und Turbulenzeffekte eine wesentliche Rolle. Die theoretische Behandlung dieser Vorgänge in Plasmen ist noch nicht zufriedenstellend entwickelt, obwohl bereits der Einfluß der Strahlung bei Stoßwellen behandelt wurde (Rankine-Hugoniot-Beziehungen unter Berücksichtigung von Strahlungseffekten). Experimentell wurden Stoßwellen in Plasmen insbesondere von A. Kantorowitz und Mitarbeitern mit Hilfe von Stoßrohren (engl.: *shock tubes*) untersucht. Einen eingehenden Aufschluß über allgemeine Strömungen in Plasmen kann man wahrscheinlich nur durch eine Weiterentwicklung einer strengen kinetischen Theorie der Plasmen erwarten. [27]

engl.: flow phenomena in a plasma

franz.: écoulement dans un plasma

Lit.: s. Magnetohydrodynamik und Pinch-Effekt sowie: H. Maekker, Z. Physik 141, 198, 1955. – R. Wienecke, Z. Physik 143, 118, 128, 1955. – A. Unsöld, Physik der Sternatmosphären, Springer, Berlin, 1956. – A. Kantorowitz, Gas Dynamics of Cosmic Clouds, Chap. 16, North Holland Publ. Co., Amsterdam, 1955. – H. Fischer and L. C. Mansur, Conference on Extremely High Temperatures, Wiley, New York, 1958.

Strontium, chemisches Zeichen Sr, Ordnungszahl 38, Atomgewicht 87,63. Sr ist ein Element mit verschiedenen für die Isotopentechnik bedeutsamen radioaktiven Isotopen. Das wichtigste ist das ^{90}Sr als leichterhältliches Spaltprodukt des Urans und als langlebige Muttersubstanz des ^{90}Y mit seiner energiereichen β-Strahlung. Das in der Natur vorkommende Isotop ^{87}Sr kann auch in einem angeregten Zustand künstlich erzeugt werden. Die innere Umwandlung in den Grundzustand vollzieht sich mit einer Halbwertszeit von 2,9 Stunden und unter Emission von Gammastrahlung und Konversionselektronen.

Übersicht der wichtigeren neutronen-aktivierten Sr-Isotope

Isotop	Erzeugung	Halb-wertszeit	Strahlung [MeV]
^{85}Sr	$^{84}Sr(n, \gamma)$	65 d	γ: 0,514
^{87}Sr	$^{86}Sr(n, \gamma)$	2,9 h	γ: 0,79 75 %
	$^{90}Zr(n, \alpha)$		e^-: 25 %
^{89}Sr	$^{88}Sr(n, \gamma)$	53 d	β^-: 1,46
	$^{92}Zr(n, \alpha)$		
	^{89}Y (n, p)		
^{90}Sr	U (n, sp)	19,9 a	β^-: 0,53
^{90}Y	Tochter v. ^{90}Sr	65 h	β^-: 2,25
^{91}Sr	$^{94}Zr(n, \alpha)$	9,67 h	β^-: 2,67

^{90}Sr wird für Bestrahlungen, elektrostatische Entladungen, als langlebige Markierungssubstanz und für Atombatterien verwendet. Weite Verbreitung findet es bei Beta-Durchstrahlungs- und -Reflexionsverfahren, zur Bestimmung von geometrischen und stofflichen Eigenschaften sowie bei automatischen Regelmechanismen. Gelegentlich wird ^{90}Sr auch als Bremsstrahlquelle mit einer Maximalintensität bei 100 keV benutzt. Es gehört zu den gefährlichsten Isotopen, da es sich in der Knochensubstanz des menschlichen Körpers anzureichern pflegt und dort unmittelbar die blutbildenden Organe schädigt. [16]

engl.: strontium *franz.: strontium*

Strontiumalter

Strontiumalter ist das Alter eines Rubidium-Minerals, das auf Grund seines Strontiumgehalts bestimmt wurde. Dieses Strontium – es handelt sich um das Isotop ^{87}Sr – ist durch β-Zerfall des Kerns ^{87}Rb entstanden. Aus dessen bekannter Halbwertszeit von $6{,}3 \cdot 10^{10}$ Jahren kann man auf die Zeit schließen, die zur Bildung der Strontiummenge notwendig war. Diese Zeit ist identisch mit dem Alter des Minerals, da aus kristallographischen Gründen die Strontiumbeimengung im Zeitpunkt der Entstehung des Minerals ausgeschlossen werden kann. S. a. Altersbestimmung, radioaktive. [7]

engl.: strontium age

franz.: âge de strontium

Strukturmaterial im Reaktor, ungenaue Bezeichnung, die normalerweise für jedes Material, außer Brennstoff, Brutstoff, Moderator und Kühlmittel, gebraucht wird. Der Begriff umfaßt also das Material für Hülsen, für Führungsrohre für das Kühlmittel, für den Reaktorkessel und für die Materialien, die in der thermischen und biologischen Abschirmung für die notwendige Festigkeit sorgen. Die Schildmaterialien, insbesondere Normalbeton und Schwerstbeton, fallen normalerweise nicht unter den Begriff der Strukturmaterialien. – Bei der Auswahl des S. spielen neben den normalen Gesichtspunkten, wie Festigkeit, Korrosionsbeständigkeit usw., auch noch der Absorptionsquerschnitt gegenüber Neutronen und die Veränderungen, die die Materialien durch Bestrahlung erleiden, eine Rolle (s. Strahlenschäden). Die S. in der Spaltzone sollten einen möglichst geringen Absorptionsquerschnitt besitzen. Nach außen schwächt sich diese Bedingung ab und kehrt sich bei den Abschirmmaterialien in das Gegenteil um. Für schnelle Reaktoren spielt der Absorptionsquerschnitt vom S. eine untergeordnete Rolle, weil alle in Frage kommenden Materialien gegenüber schnellen Neutronen genügend transparent sind. Für einen thermischen Reaktor mit natürlichem Uran als Brennstoff gilt die Regel, daß nur S. mit einem Absorptionsquerschnitt kleiner als 1 barn im Reaktorkern Verwendung finden können. Dadurch reduziert sich die Auswahl der Möglichkeiten

praktisch auf die Metalle Mg, Al, Zr, Be. Wird angereichertes Uran als Kernbrennstoff benutzt, so können auch Werkstoffe mit einem höheren Absorptionsquerschnitt in Betracht gezogen werden, so daß insbesondere rostfreier Stahl oder seine Bestandteile Fe, Cr, Ni, Mo, Ti, Nb verwendbar werden. Die ungefähr zulässigen Höchsttemperaturen in °C für verschiedene Materialien gegenüber verschiedenen Kühlmitteln sind in der folgenden Tabelle zusammengefaßt.

Metall	σ_{th}	Höchsttemperatur (°C) für die Kühlmittel		
		CO_2	Wasserdampf	NaK
Be	0,009	600	250 (höher?)	600
Mg (Magnox)	0,06	>450	—	—
Zr	0,18	480	350—400	600
Al	0,21	600	150 250 (legiert)	—
rostfreier Stahl	3	500	500	800

Strukturmaterial, das der Neutronenbestrahlung ausgesetzt ist, wird a k t i v i e r t. Ist die entstandene Aktivität langlebig und rührt sie von harten Gammastrahlen her, so ist u. U. eine spätere Reparatur an den bestrahlten Teilen unmöglich. Diese Aktivierung hat praktische Bedeutung bei Druckgefäßen aus Stahl, die den Reaktorkern nach außen abschließen. Nach Aufhören der Bestrahlung und nach Fortfall der Eisenaktivität, die mit einer Halbwertszeit von etwa einem Monat abklingt, wird die verbleibende Aktivität ganz von dem im Eisen stets vorhandenen Co-Gehalt bestimmt, der deshalb so klein wie möglich gehalten werden sollte. Auch Ta, das über das als Schweißzusatz verwendete Nb in den Stahl gelangen kann, ist aus dem gleichen Grunde möglichst zu vermeiden. [20]

engl.: structural materials

franz.: matériaux de structure

Lit.: S. Glasstone, Principles of Nuclear Reactor Engineering, D. van Nostrand, New York, 1955, S. 501 ff.

Studiengesellschaft, Physikalische. Die Physikalische Studiengesellschaft Düsseldorf mbH. (PSG)

wurde am 8. 11. 1954 von 16 bedeutenden Firmen der deutschen Industrie gegründet und umfaßt zur Zeit 26 Gesellschafter aus der elektrotechnischen, chemischen, der Grundstoffindustrie, aus dem Maschinen- und Apparatebau und aus der Elektrizitätswirtschaft. Die Gesellschaft ist gemeinnützig, das Gesellschaftskapital beträgt DM 2,6 Mill. Der Aufsichtsrat besteht aus 12 Mitgliedern, dessen Vorsitzender und drei weitere Mitglieder das Präsidium bilden. Geschäftsführung in Düsseldorf, Friedrichstraße 2. Die PSG ist mit DM 1,5 Mill. an der *Kernreaktor-Finanzierungsgesellschaft mbH. in Frankfurt beteiligt.

Die PSG hat in ihren Arbeitsgruppen Reaktorplanung (am Max-Planck-Institut für Physik in Göttingen, Leitung Prof. Wirtz) und Radiochemie (am Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz, Leitung Prof. Seelmann-Eggebert) wissenschaftliche und technische Vorarbeiten für den Entwurf und Bau eines deutschen Kernreaktors geleistet, die von der *Kernreaktor Bau- und Betriebsgesellschaft Karlsruhe für den Bau des Forschungsreaktors *FR 2 übernommen und weitergeführt wurden. Die PSG hat außerdem mit den vom Bundeswirtschaftsministerium gegebenen Mitteln eine große Zahl von Forschungsaufträgen an Universitäts- und Max-Planck-Institute vergeben.

Gesellschaftsfirmen:

Allgemeine Deutsche Philips Industrie GmbH., Hamburg 1

AEG Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft, Frankfurt/Main

Badenwerk AG., Karlsruhe

Brown, Boveri & Cie. AG., Mannheim 1

DEGUSSA Deutsche Gold- und Silber-Scheideanstalt vormals Roessler, Frankfurt/Main

DEMAG AG., Duisburg

Deutsche Babcock & Wilcox-Dampfkessel-Werke AG., Oberhausen/Rhld.

Farbenfabriken Bayer AG., Leverkusen

Farbwerke Hoechst AG. vormals Meister Lucius und Brüning, Frankfurt/M.-Hoechst

Gelsenkirchener Bergwerks AG., Essen
Gesellschaft für Linde's Eismaschinen AG., Wiesbaden
Th. Goldschmidt AG., Essen
Gutehoffnungshütte Aktienverein f. Bergbau und Hüttenbetriebe, Oberhausen/Rhld.
W. C. Heraeus GmbH., Platinschmelze, Hanau/Main
Klöckner-Werke AG., Duisburg
Friedr. Krupp, Essen
Kugelfischer, Georg Schäfer & Co., Schweinfurt
E. Leybold's Nachfolger, Köln-Bayental
Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg AG., Nürnberg 2
Metallgesellschaft AG., Frankfurt/Main
Neckarwerke Elektrizitätsversorgung AG., Eßlingen/Neckar
Rheinische Stahlwerke, Essen
Siemens-Schuckert Werke AG., Erlangen
Steinkohlen-Elektrizitäts-Aktienges., Essen
Vereinigte Industrie-Unternehmungen AG., Bonn
Wacker Chemie GmbH., München 22 [10]

Studsvik, neues Atomforschungsinstitut der halbstaatlichen schwedischen Atomenergiegesellschaft – AB Atomenergi – an der Ostküste Schwedens südlich Stockholms. Standort des im Bau befindlichen Materialprüfreaktors R-2. [24]

Stufenversetzung, s. Versetzung.
engl.: edge dislocation
franz.: dislocation-coin

Stunde, reziproke, ist ein Bezug für die *Reaktivität. Es ist eine r. S. diejenige Reaktivität, für die die stabile *Reaktorperiode gleich 1 h ist. Bei der Reaktivität 0 ist die Periode ∞, d. h. der Reaktor arbeitet stationär bei einem bestimmten Leistungspegel. Reaktorperiode T und Reaktivität ϱ hängen zusammen über

$$\varrho = \frac{l}{T \cdot k} + \sum_{i=1}^{6} \frac{\beta_i}{1 + \lambda_i T} \qquad (1)$$

(l *Generationsdauer der prompten Neutronen, k effektiver Vermehrungsfaktor des Reaktors, β_i Bruchteile, mit denen die verzögerten Neutronen der Gruppe i

entstehen, λ_i Zerfallskonstante der zugehörigen Zwischenkerne). Die Reaktivität einer r. S. erhält man aus (1), wenn man dort für T 3600 s einsetzt.

Bezieht man eine beliebige Reaktivität auf eine solche, die eine Reaktorperiode von 1 h bewirkt, so lautet die Formel

$$\varrho_{\text{ih}} = \frac{l/T\,k + \sum_{i=1}^{6} \beta_i/(1 + \lambda_i\,T)}{l/3600\,k + \sum_{i=1}^{6} \beta_i/(1 + 3600\,\lambda_i)}\,. \tag{2}$$

In der angelsächsischen Literatur heißt (2) die *inhour*-Formel. Andere Maßstäbe für die Reaktivität sind 1 Dollar und 1 Cent. [7]

engl.: inhour (inverse hour) *franz.: heure inverse*

Lit.: s. Reaktortheorie.

Sublimation. Sie wird zur Reindarstellung bestimmter Stoffe verwendet. Sie beruht auf der Verdampfung eines festen Stoffes unterhalb des Tripelpunktes im Druck-Temperatur-(p, t-)Diagramm, so daß er unmittelbar in den dampfförmigen Zustand übergeht, also nicht das Zustandsgebiet der Flüssigkeit zu durchlaufen hat. Umgekehrt wird er bei Abkühlung unterhalb des Tripelpunktes wieder unmittelbar von der dampfförmigen in die feste Phase übergehen (Verdunsten von Eis, Ausfrieren von Luftfeuchtigkeit). In der Technik sind die Arbeitsdrücke meist niedrig (Anwendung von Vakuum oder Überbrückung der Differenz zwischen Dampfdruck und Gesamtdruck durch den Partialdruck eines Hilfsgases). [2]

engl.: sublimation

franz.: sublimation

Lit.: Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, 3. Aufl., München-Berlin, 1951, Bd. 1: Chemischer Apparatebau und Verfahrenstechnik.

Substitutionsmischkristall, s. Mischkristall.

engl.: substitutional solid solution

franz.: solution solide de substitution

Supo (Super Power Water Boiler) ist nach Lopo (5 W) und Hypo (45 W) der dritte Forschungsreaktor in einer Versuchsreihe, die von 1944 bis 1955 in Los

Alamos, Neu-Mexiko, zum Studium homogener, leichtwasser-moderierter, thermischer Reaktoren (*Wasserkessel) durchgeführt wurde.
Abb. 1 zeigt das aufgeschnittene Reaktorgefäß des S.,

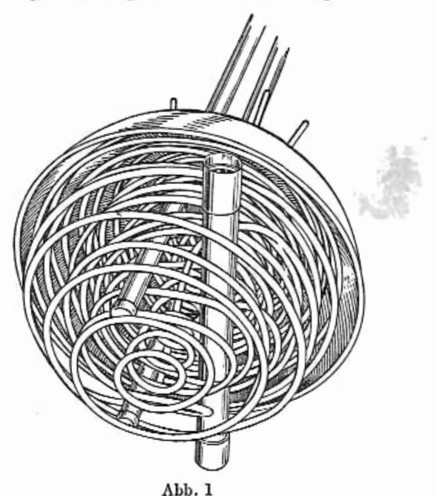


Abb. 1

einen Stahlbehälter, 30,5 cm innerer Durchmesser, mit innerem Wärmetauscher, bestehend aus drei Kühlschlangen je 6 m lang, äußerer Rohrdurchmesser 6,4 mm, Wandstärke 0,73 mm. Man sieht außerdem die Führungshülsen zweier Regelstäbe, sowie den zentralen Experimentierkanal *(glory hole)*. Die Kugel ist mit einer wäßrigen Uranylsulfatlösung (ca. 12 l) gefüllt, wobei das Uran zu 88,7 % angereichert ist. Die eingesetzte U-235-Menge beträgt 870 g, die kritische Menge 777 g, Lösungstemperatur normal 75 °C. Abb. 2 zeigt den Reaktor im Schnitt. Die Spaltzone ist bis auf eine obere Öffnung allseitig vom Graphitreflektor umgeben. Zur Steuerung dienen vier Stäbe aus Bor oder Cadmium, zwei davon tangieren den Behälter.
Der Reaktor ist für Leistungen bis zu 45 kW ausgelegt, die spezifische Leistung beträgt im Normalbereich 2,8 kW/l, dabei maximaler thermischer Neutronenfluß $1{,}7 \cdot 10^{12}$ n/cm^2 s. Die Leistung wird in erster Linie

 nicht durch das Kühlsystem, sondern durch die Größe der Knallgasrekombinationsanlage begrenzt (Abb. 3). Bei Leistungen über etwa 35 kW steigt der Knallgas-

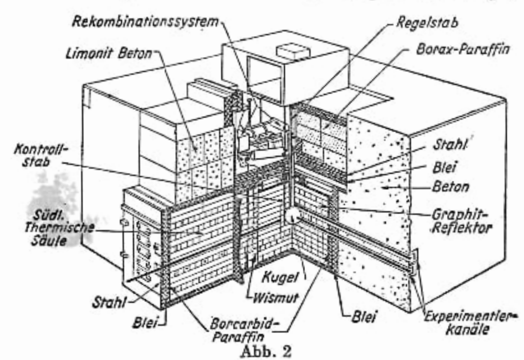


Abb. 2

gehalt des Spülgases (Gasstrom 100 l/min) auf über 10 %, die Temperatur des Katalysators (platiniertes Aluminium) im Rekombinationsgefäß auf über 500 °C

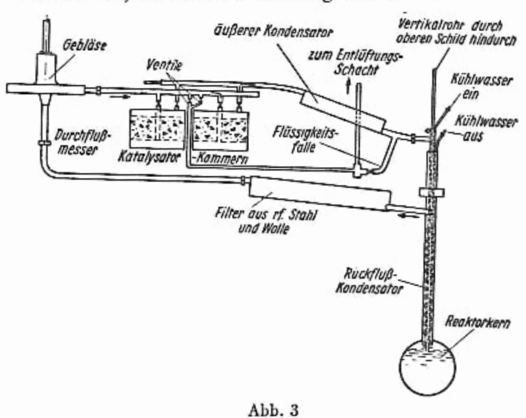


Abb. 3

an. Dadurch treten Unstetigkeiten in der katalytischen Verbrennung auf mit kleinen Druckschwankungen, die rückwirkend im Reaktor Leistungsschwankungen hervorrufen, die vom automatischen Regelsystem nicht vollständig kompensiert werden können. Bei homoge-

nen Reaktoren mit höheren Betriebstemperaturen und Drücken kann die radiolytische Gasbildung durch Zusatz geringer Mengen von Metallionen (Cu-Sulfat, Fe-Sulfat) zur Spaltstofflösung beeinflußt werden (Begünstigung der Rekombination innerhalb der Lösung). – Den Graphitreflektor des S. umgeben mehrere Abschirmungen aus Wismuth, Borkarbid, Paraffin, Stahl, Blei und Beton. S. a. Reaktorverzeichnis im Anhang von Bd. I. [25]

Lit.: King L. D. P., Peaceful Uses of Atomic Energy, Bd. 2, S. 372, 1955. – Progress of Nuclear Energy, Series II, Vol. 1 (Reactors), Pergamon Press, London, 1956. – King L. D. P., The Los Alamos Homogeneous Reactor, SuPo Model, AECD 3287 (Febr. 1952).

Suspensionsreaktor ist ein homogener Reaktor, bei dem der feste Spaltstoff (Metall oder Oxyd) in der Moderatorsubstanz zu einer Suspension aufgeschwemmt ist. Es ist durch einen Wirbulator und/oder geeignetes Umpumpen der Suspension dafür zu sorgen, daß sich der fein verteilte Spaltstoff nicht absetzt. Eine Suspension könnte gegenüber einer Lösung den Vorteil haben, daß die Spaltprodukte weitgehend in den festen Teilchen stecken bleiben und daß die Korrosion von Rohrleitungen durch die Suspension geringer ist als durch eine Lösung. Allerdings tritt dafür Erosion als neues Problem auf. [7]

engl.: suspension reactor
franz.: réacteur homogène (en suspension),
réacteur à schlamm

Synchro-Phasotron, s. Nachtrag.

Synchrotron, ein Kreisbahn-Beschleuniger für atomare Teilchen, der sich vom *Zyklotron dadurch unterscheidet, daß die Teilchen während ihrer Beschleunigung immer auf derselben Kreisbahn (also mit konstantem Radius) umlaufen, wogegen im Zyklotron der Bahnradius dauernd wächst, so daß eine nach außen laufende Spiralbahn entsteht. Die exakte Kreisbahn wird im S. dadurch erreicht, daß erstens die Teilchen bereits (nach einer Beschleunigung anderer Art) mit hoher Geschwindigkeit auf die Kreisbahn gelangen, und daß zweitens von da ab sowohl die Frequenz des elektrischen Beschleunigungsfeldes wie auch die Stärke des magnetischen Führungsfeldes durch geeignete Stei-

gerung genau der Geschwindigkeit und diese der Masse der Teilchen angepaßt wird. Der Vorteil der exakten Kreisbahn liegt darin, daß nur an der Stelle dieser Kreisbahn das starke Führungs-Magnetfeld erforderlich ist, dieses also durch einen Ringmagneten erzeugt werden kann, wodurch viel größere Bahnradien und damit viel höhere Endenergien möglich werden als beim Zyklotron.

Das S. kann sowohl zur Beschleunigung von Ionen (bis jetzt stets Protonen) wie auch zur Beschleunigung von Elektronen dienen. Man unterscheidet daher Elektronen-S. und Protonen-S. Elektronen-S. wurden bis jetzt bis rund 1500 MeV Endenergie gebaut. Bei ihnen erfolgt die Anfangsbeschleunigung der Elektronen häufig durch Induktionsbeschleunigung wie bei der *Elektronenschleuder. Erst wenn die Elektronen nahezu Lichtgeschwindigkeit besitzen, tritt die S.-Beschleunigung in Tätigkeit, um ihre Energie weiter zu erhöhen. S. mit noch höherer Endenergie (bis 6000 MeV) sind im Bau. Bei Geräten höherer Energie werden die Teilchen – ähnlich wie beim Protonen-S. – aus einer „Elektronenkanone" tangential auf die Kreisbahn eingeschossen.

Noch wesentlich höhere Endenergien werden beim Protonen-S. erreicht. Die größten Geräte sind hier das *Cosmotron im Brookhaven-Nationallaboratorium in Upton, N. Y., mit rund 3000 MeV, das *Bevatron in Berkeley mit rund 6000 MeV und das Synchro-*Phasotron bei Moskau mit rund 10 000 MeV Endenergie. Noch größere Geräte sind im Bau, so das Protonen-S. des Europäischen Atomzentrums in Genf mit 170 m Durchmesser, das Protonen-Strahlen von 30 000 MeV liefern soll. Dieses verwendet das Prinzip der „starken Fokussierung" oder des „alternierenden Gradienten" (AG-Beschleuniger). [1]

engl.: synchrotron *franz.: synchrotron*

Lit.: R. Kollath, Teilchenbeschleuniger, Vieweg, Braunschweig, 1955.

Synchrozyklotron, s. Zyklotron.

engl.: synchrocyclotron *franz.: synchrocyclotron*

Szilard-Chalmers Detektor, Aktivierungs-Detektor für langsame Neutronen (s. Neutronen-Detektoren). Aus einer wäßrigen manganhaltigen Lösung, z. B.

$Ca(MnO_4)_2$ fällt das aktivierte Mn 56 als MnO_2 aus (*Szilard-Chalmers-Effekt), wird abgefiltert und die Betaaktivität gemessen. Bei Verwendung von Absorberkombinationen (thermische und Resonanz-Absorber) können thermische Neutronen im Gebiet einiger eV getrennt werden.
Anstelle der S.-Ch.-Reaktion können auch ähnliche Reaktionen, z. B. mit $MnSO_4$- oder CaJ_2-Lösungen, benutzt werden, bei denen das aktivierte Element später ausgefällt oder direkt in der Lösung gemessen wird. [6]
engl.: Szilard-Chalmers detector
franz.: détecteur de Szilard et Chalmers

Szilard-Chalmers-Effekt, chemischer Effekt, der es ermöglicht, durch Kernreaktionen hergestellte Nuklide von ihrer isotopen Ausgangssubstanz zu trennen. Er gründet sich auf die Tatsache, daß durch die Kernreaktion die radioaktiven Atome zum Teil aus ihrem ursprünglichen Molekülverband herausgerissen werden und so in einer anderen chemischen Form vorliegen, deren Trennung vom Ausgangsmaterial keine Schwierigkeiten bereitet. [3]
engl.: Szilard-Chalmers effect
franz.: effet Szilard-Chalmers

Szintillation. In der Kernphysik versteht man unter S. die feinen, einzelnen Lichtblitze, die beim Auftreffen einzelner energiereicher Teilchen auf bestimmte Stoffe (z. B. Diamant, Zinksulfidphosphore, organische Leuchtstoffe) entstehen. Die S. diente schon in der Frühzeit radioaktiver Forschung zum Nachweis einzelner α-Teilchen und wird neuerdings im *Szintillationszähler und im Szintillationsspektrometer ausgenutzt. [1]
engl.: scintillation *franz.: scintillation*

Szintillationskammer. Zur Erfassung schneller Teilchen wurde an der Princeton-Universität eine S. entwickelt. Sie kombiniert die schnelle zeitliche Auflösung eines Szintillationszählers mit dem Vorteil der klassischen Nebelkammer bzw. der Blasenkammer, um die Teilchen sichtbar zu machen. Man benutzt 0,5 mm starke Fäden aus szintillierendem Material, z. B. Polystyrol mit Terphenyl, die gebündelt und in wechselnden Schichten zusammengepreßt werden. Die einzelnen

Fäden wirken als Lichtleiter, wenn sie an einem Ende von Teilchen getroffen werden. Die Anordnung erlaubt eine dreidimensionale Beobachtung von Partikeln, einschließlich Hyperonen und Mesonen, bei gleichzeitiger Zählung mit einer Auflösung von 10^{-8} s. Eine noch zu entwickelnde elektronische Zusatzeinrichtung soll es ermöglichen, den Verlauf einzelner Teilchen in der Kammer zu verfolgen; eine weitere Ergänzung durch einen Bildverstärker soll in naher Zukunft fertiggestellt sein. [7]
engl.: scintillation chamber
franz.: chambre à scintillations

Szintillationsspektrometer, s. Szintillationszähler.
engl.: scintillation spectrometer
franz.: spectromètre à scintillations

Szintillationszähler. Die an sich alte und sehr mühsame Methode, atomare Teilchen, z. B. α-Teilchen, durch die von ihnen erregten Szintillationen zu zählen, ist neuerdings dadurch ihrer Mühsamkeit entkleidet worden, daß die visuelle Beobachtung der Lichtblitze durch ihre Registrierung mittels Photozelle und Elektronenvervielfacher (Photo-Multiplier) ersetzt wird. Eine solche Anordnung nennt man S. Als Leuchtsubstanz werden entweder anorganische Kristalle wie aktiviertes Natriumjodid, oder aber organische Substanzen wie Anthrazen oder Stilben verwendet, gelegentlich auch Flüssigkeiten. Der S. hat vor dem *Zählrohr den Vorteil, daß seine zeitliche Auflösung statt 10^{-4} bis 10^{-6} s nur 10^{-9} s beträgt, so daß verzögerte Koinzidenzen bis herunter zu einigen 10^{-10} s gemessen werden können. Da die Lichtausbeute einer einzelnen Szintillation innerhalb gewisser Bereiche der Energie des erregenden Teilchens proportional ist, können mit dem S. Teilchen auch nach ihrer Energie analysiert werden (Szintillationsspektrometer). Die Linearität ist in jedem Einzelfall zu prüfen. [1]
engl.: scintillation counter
franz.: compteur à scintillation

Lit.: E. Fünfer u. H. Neuert, Zählrohre und Szintillationszähler, Braun, Karlsruhe, 1954. – Kohlrausch, Praktische Physik, Bd. II, S. 572, Teubner, Stuttgart, 1956.

Szintillator, s. Leuchtstoff.

Szintillometer, s. Szintillationszähler.

T

Table Top, s. Nachtrag.

Tank-Reaktor, ein Forschungsreaktor-Typus, der in den wesentlichen Zügen mit dem Wasserbecken-Reaktor übereinstimmt, jedoch bei höheren Leistungen (2 bis 5 MW) arbeitet, so daß das Wasserbecken auch oben abgeschlossen sein und die Kühlung durch

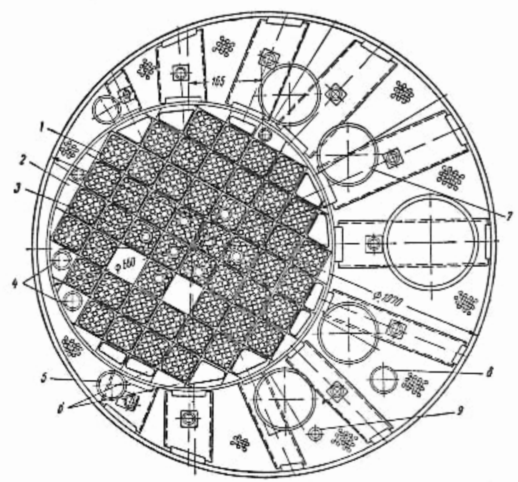


Abb. 1. Aktive Zone des Tankreaktors: 1 Korb mit Uranstäben; 2 Stützplatte; 3 Kontroll- und Abschaltstäbe; 4 senkrechte Experimentierkanäle; 5 Ionisationskammer für das Anfahren; 6 Halteblöcke; 7 Ionisationskammer für Normalbetrieb; 8 Überströmrohr; 9 Wasserstandsmesser.

Zwangsumlauf erfolgen muß. Ein typisches Beispiel für T.-R.n ist der *MTR.

Der T.-R. besitzt die Vorteile des Schwimmbadreaktors (hoher Neutronenfluß bei geringem Uran-Einsatz, Moderator und Kühlmittel billig), kann jedoch bei höheren Leistungen gefahren werden, als dieser. Als Forschungsinstrument ist er sehr flexibel.

Als weiteres Beispiel kann ein sowjetischer Reaktor angeführt werden, der an verschiedene Länder geliefert wurde (einer dieser Reaktoren wurde in Dresden aufgestellt). Als Moderator und Kühlmittel sowie als

Tank-Reaktor

Reflektor dient H_2O. Die Wärmeleistung beträgt 2 MW bei einem thermischen Maximalfluß von $2 \cdot 10^{13}/\mathrm{cm}^2\,\mathrm{s}$.

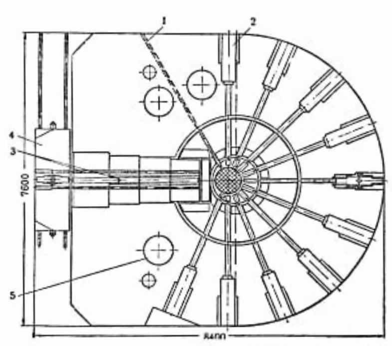


Abb. 2. Horizontalschnitt durch den Tankreaktor: 1 Rohrpost; 2 horizontaler Experimentierkanal; 3 thermische Säule; 4 Schild vor der thermischen Säule; 5 Aufbewahrungsrohr für radioaktives Material.

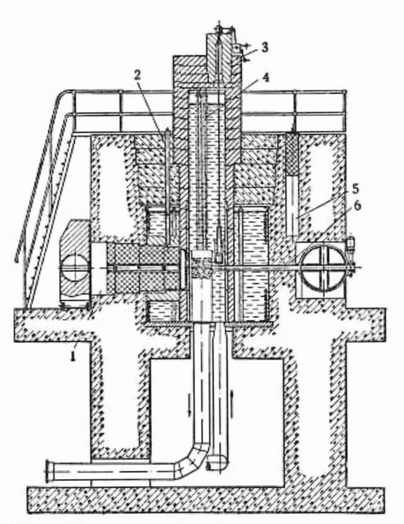


Abb. 3. Vertikalschnitt durch den Tankreaktor: 1 thermische Säule; 2 vertikaler Kanal; 3 Lademaschine; 4 Kontrollstab-Rohre; 5 biologischer Experimentierkanal; 6 horizontaler Experimentierkanal mit Verschluß.

Die **S p a l t z o n e** liegt exzentrisch im inneren Reaktortank (Abb. 1) und enthält 52 Körbe mit je 16 Brennstoffelementen-Stäben von 10 mm Durchmesser aus 10 %ig angereichertem Uran in Al-Hülsen. Der Stababstand beträgt 17,5 mm. Insgesamt sind 4,5 kg U^{235} eingesetzt. An die Spaltzone schließen sternförmig die horizontalen **E x p e r i m e n t i e r k a n ä l e** und die **t h e r m i s c h e S ä u l e** an (Abb. 2). Außerdem sind noch eine Reihe von vertikalen Kanälen vorgesehen. Die **K ü h l u n g** erfolgt durch Zwangsumlauf. Um eine Wassertemperatur von 35 °C und eine Temperatur von 90 °C an der Staboberfläche aufrechtzuerhalten, werden im Primärkreislauf 900 m³ Wasser pro Stunde umgepumpt. Die Wärme wird in einem Wärmetauscher an den Sekundärkreislauf (250 m³/h) abgegeben. Die Zersetzungsprodukte des Wassers und sonstige radioaktive Gase werden abgesaugt, mit Luft vermischt und durch einen Schornstein abgeblasen. Die **K o n t r o l l e** des Reaktors erfolgt durch neun Stäbe (ein Stab aus Stahl, die restlichen aus Borstahl). Die Abb. 3 zeigt den T.-R. im Schnitt. [13]

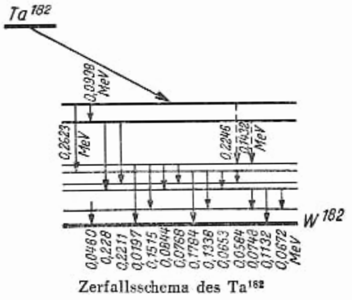
engl.: tank reactor

franz.: réacteur chaudière

Lit.: Peaceful Uses of Atomic Energy, Bd. 2, Genf, 1955, S. 399.

Tantal 182

Tantal 182, Halbwertszeit 111 Tage. Dem einfachen β-Spektrum der Maximalenergie von 0,51 MeV überlagern sich Linien von Konversionselektronen, die von



Zerfallsschema des Ta^{182}

einem sehr komplexen γ-Spektrum herrühren. ^{182}Ta dient hauptsächlich als Strahlquelle für Grobstruktur-

untersuchungen an Stahl im Dickenbereich von 10 bis 150 mm. [16]
engl.: tantalum *franz.: tantale*

Target, s. Auffänger.

Taschendosimeter (Taschenionisationskammer). Zur Individualüberwachung benutztes kleines in Taschen tragbares, luftäquivalentes Meßgerät. Es mißt die Dosis von Röntgen-, Gamma- oder Neutronenstrahlung. Zum Neutronennachweis bringt man borhaltiges Material in die Ionisationskammer.

In einem füllfederförmigen Gehäuse ist zumeist ein Fadenelektrometer mit den zugehörigen Ablesehilfen (Optik und Skala) sowie eine Ionisationskammer untergebracht. Elektrometer und Ionisationskammer werden vor Ingebrauchnahme entweder durch eine äußere Spannungsquelle oder durch eine eingebaute Vorrichtung zur Erzeugung von Reibungselektrizität aufgeladen. Das Ausmaß der Entladung gibt ein Maß für die Dosis. Schwellempfindlichkeit etwa 0,5 mr, Genauigkeit mittelmäßig. [6, 28]
engl.: pocket dosemeter
franz.: dosimètre de poche

Tauchsiederreaktor, andere Bezeichnung für Wasserbeckenreaktor.

Tauchzähler, findet zur Messung der Betaaktivität von Lösungen Anwendung. Das empfindliche Volumen eines Glaszählers wird von einem dünnwandigen Rohr von sehr geringer Stärke ($\approx$0,1 mm) umschlossen. Auf der Innenwand befindet sich die Kathode aus einer dünnen aufgedampften Metallschicht oder aus Aquadag. Durch einen Schutzzylinder aus Glas um den Zähldraht wird das Zählvolumen zur Erzielung eindeutiger geometrischer Verhältnisse begrenzt. [6]
engl.: dip counter
franz.: compteur à plongeur

TBP ist die Abkürzung für das in Brennstoffaufbereitungsprozessen am häufigsten verwendete Extraktionsmittel Tributylphosphat $(C_4H_9)_3PO_4$, Mol.-Gew. 266,32. Es eignet sich vorzüglich als Extraktionsmittel für anorganische Salze, vor allen Dingen zur Extraktion von Nitraten. TBP ist innerhalb des Temperaturbereiches von -78 °C bis $+289$ °C flüssig,

sein Entflammungspunkt liegt bei 146 °C, sein Dampfdruck ist bei Raumtemperatur relativ niedrig. In Wasser ist es nur sehr schwach löslich (0,586 g/0,1 l H_2O), d. h. ca. 0,6 Val.-%. Gegenüber chemischen Reagenzien, z. B. konzentrierter HNO_3 ist es sehr widerstandsfähig. Seine Dichte liegt mit 0,973 nur sehr wenig unter der von Wasser, was für den Zweck der Zweiphasenextraktion sehr ungünstig ist. Da seine extrahierende Wirkung sehr gut ist, kann man TBP in spezifisch leichteren oder schwereren organischen Lösungsmittels verdünnen, um eine klare Phasentrennung zu Wasser zu erreichen. Seine Dielektrizitätskonstante liegt mit dem Wert von 8 weit unter der des Wassers, zur Reinheitsbestimmung des TBP kann man also die Messung der D.K. heranziehen. Als Verdünnungsmittel für TBP wird oft *Kerosin verwendet. Beimengungen von MBP (Monobutylphosphat) und DBP (Dibutylphosphat) verschlechtern die Extraktionseigenschaften des TBP. [22]
Lit.: s. Hexon.

TBP-Metall-Rückgewinnungsprozeß ist die Bezeichnung für einen Aufbereitungsprozeß für bestrahlte Kernbrennstoffe, wobei Plutonium und Uran mittels chemischer Fällung durch Wismutphosphat voneinander getrennt werden. Der übrige Reinigungsvorgang der Plutonium- und Uranlösung geschieht mit Hilfe der Flüssig-Flüssig-Extraktion mit organischen Lösungsmittel ähnlich wie im *Purex- oder *Redox-Prozeß. [22]
engl.: TBP-metal-recovery process
franz.: régénération par procédé au TBP

TBP-Rückgewinnung. Die Reinigung und Rückgewinnung von TBP geschieht mittels Wäsche in einer Kolonne durch Na_2CO_3 und anschließend Reinigung des TBP von Feststoffen in Zentrifugen. Das TBP ist in großem Maße durch seine Zersetzungsprodukte Mono- und Dibutylphosphate verschmutzt. [22]
engl.: TBP solvent recovery
franz.: régénération du TBP

TBP-Prozeß, Sammelbezeichnung für alle *Aufbereitungsprozesse, bei denen TBP (Tributylphosphat) als organisches Extraktionsmittel verwendet wird. TBP

bildet mit Uranylnitrat und anderen Nitraten Komplexverbindungen, die in TBP löslich sind, worauf die extrahierende Wirkung des TBP beruht. [22]
engl.: TBP process
franz.: procédé au TBP (tributylphosphate)

Technetium, chemisches Element der Ordnungszahl 43 (chem. Symbol Tc), das lange Zeit eine Lücke im Periodischen System der Elemente bildete und erst 1947 von Perrier und Segrè durch den radioaktiven Zerfall von künstlich radioaktiven Molybdänisotopen erhalten wurde.

Heute sind zwölf Isotope (nebst zahlreichen Isomeren) mit Massenzahlen zwischen 92 und 107 bekannt, welche durchweg radioaktiv sind. Die größte Halbwertszeit, etwa sechs Stunden, hat das Isotop 99. Mit Hilfe der sehr starken Strahlenquellen des Reaktors gelang jedoch der Nachweis, daß dieses Isotop ein ebenfalls β-strahlendes, aber sehr viel stabileres Isomer (s. Kernisomerie) besitzt, mit einer Halbwertszeit von rund einer Million Jahren. Dieses kann wegen seiner langen Lebensdauer im Reaktor in wägbaren Mengen gewonnen werden. Aus den radioaktiven Abfall-Lösungen der Aufbereitungsanlagen wird es teilweise von den übrigen radioaktiven Spaltprodukten separiert; man fällt es als Tetraphenyl-Arsen-Pertechnetat (Ph_4AsTcO_4) aus.

In der Isotopentechnik werden gebraucht:

^{97}Tc, das bei der inneren Umwandlung in den Grundzustand beinahe die ganze freiwerdende Energie von 95 keV auf die Elektronen der K- und L-Schale überträgt, und ^{99}Tc, ein mittelweicher β-Strahler von 0,29 MeV. Beide Isotope werden durch Neutronenaktivierung und Zerfall einer Muttersubstanz gewonnen:

$$^{96}\mathrm{Ru}\ (\mathrm{n}, \gamma)\ ^{97}\mathrm{Ru} \xrightarrow[2{,}8\ \mathrm{d}]{\text{Elektroneneinfang}} {}^{97}\mathrm{Tc}^{*}$$

$$^{98}\mathrm{Mo}\ (\mathrm{n}, \gamma)\ ^{99}\mathrm{Mo} \xrightarrow[68\ \mathrm{h}]{\beta^-} {}^{99}\mathrm{Tc}$$

Beide Isotope dienen als Elektronenquellen, allerdings niederer spezifischer Aktivität. ^{97}Tc* zeichnet sich durch

das Linienspektrum der K-Elektronen ohne Betakontinuum aus. [1, 16, 22]

engl.: technetium *franz.: technétium*

Lit.: O. Hahn, Künstliche Elemente, Verlag Chemie, Weinheim, 1948. – Landolt-Börnstein, Zahlenwerte und Funktionen, I. Bd., 5. Teil, Springer, Berlin, 1952.

Technik, chemische, eine der verschiedenen Begriffsformen der unauflöslich ineinander übergehenden Arbeitsgebiete von Chemiker und Ingenieur in den Betrieben der (chemischen) Verbrauchsgüterindustrie. Ch. T. betont i. a. mehr die Nebenausbildung des Chemikers in den Ingenieurfächern, die zur Entwicklung, zum Bau und Betrieb von Anlagen der chemischen Industrie, aber auch ganz allgemein der Verbrauchsgüterindustrie unerläßlich sind, deren praktische Ausübung aber nicht Aufgabe des Chemikers, sondern des (Maschinen-)Ingenieurs oder nach heutiger Begriffsprägung des *Verfahrensingenieurs ist. Öfter auch im Sinne einer „Verfahrensbeschreibung" gebraucht. [2]

engl.: chemical engineering

franz.: technique chimique, génie chimique

Lit.: F. A. Henglein, Grundriß der chemischen Technik, 8. Aufl., Weinheim, 1954.

Technologie, chemische, lange Zeit im wesentlichen eine „katalogartige" Warenkunde und Beschreibung ihrer einzelnen Herstellverfahren. Mit wissenschaftlicher Durchdringung und Zurückführung auf die physikalischen Grundvorgänge im Sinne der heutigen *Verfahrenstechnik die Technologie der Verbrauchsgüter, d. h. die Lehre von ihrer Herstellung und ihren Herstellverfahren. [2]

engl.: chemical technology

franz.: technologie chimique

Lit.: K. Winnacker u. E. Weingaertner, Chemische Technologie, München, 1950.

Teillastverhalten, das Verhalten eines Reaktors bei Änderung seiner Leistung. Es treten dabei folgende Effekte auf:

1. Einfluß auf Kraftwerkswirkungsgrad. Da der optimale Wirkungsgrad bei der Nennleistung der Anlage erreicht wird, tritt bei Teillast eine Verschlechterung ein.
2. Vergiftung durch Spaltprodukte (Xe, Sm), s. Abschalten.

3. Änderung der Reaktivität durch Temperatur- und Druckeffekte.
4. Änderung der Temperatur- (und Fluß-) Verteilung im Reaktorkern; dadurch Beanspruchung der Reaktormaterialien.
5. Änderung des Kühlmitteldruckverlustes im Reaktor.
   a) Änderung der Kühlmittelgeschwindigkeit durch Regelung.
   b) Einfluß der geänderten Temperaturverteilung.

Diese Effekte (vor allem 3 und 4) bestimmten die zulässige Leistungsänderung pro Zeiteinheit. Bei guter Konstruktion der Kreisläufe und ihrer Regelung kann man mindestens ein den konventionellen thermischen Kraftwerken gleichwertiges Teillastverhalten erzielen. [21]
franz.: comportement à charge partielle

Telegraphengleichung beim Reaktor, s. P_1-Approximation, zeitabhängige.
engl.: telegraphers equation

Tellur, chemisches Zeichen Te, Ordnungszahl 52,

Isotop	Erzeugung	Halbwertszeit	Strahlung [MeV]	Umwandl.-Produkt
$^{127}Te^*$	^{126}Te (n, γ) ^{127}J (n, p)	110 d	γ: 0,086 ~0 % K-El. ~100 %	$^{127}Te_{(rad.)}$
^{127}Te	Tochter v. $^{127}Te^*$ ^{126}Te (n, γ) ^{127}J (n, p) ^{128}Te (n, 2 n)	9,3 h	β^-: 0,68	$^{127}J_{(stab.)}$
$^{129}Te^*$	^{128}Te (n, γ) ^{130}Te (n, 2 n)	31 d	γ: 0,106 ~ 0 % K-El. ~100 %	$^{129}Te_{(rad.)}$
^{129}Te	^{128}Te (n, γ) ^{130}Te (n, 2 n)	72 min	β^-: 1,46 γ: 0,03 . . . 1,12	$^{129}J_{(rad.)}$
^{131}Te	^{130}Te (n, γ) U (n, f)	25 min	β^-: 2,0 γ: 0,16	$^{131}J_{(rad.)}$
^{132}Te	U (n, f)	77 h	β^-: 0,22 γ: 0,23	$^{132}J_{(rad.)}$

Atomgewicht 127,61. Te-Isotope sind teils zur Radiojodgewinnung und teils als *Leitisotope wichtig. Vorstehende Tabelle gibt einen Überblick über Tellurisotope, die im Atomreaktor entstehen. [16]
engl.: tellurium
franz.: tellure

Temperatur, mittlere, des Kühlmittels, s. mittlere Flüssigkeitstemperatur.
engl.: mean temperature
franz.: température moyenne

Temperaturbedingungen, optimale. Bei heterogenen *Leistungsreaktoren sind die Betriebstemperaturen, d. h. Ein- und Austrittstemperaturen des Kühlmittels dadurch begrenzt, daß die Temperatur sowohl im Inneren der Brennstoffstäbe als auch an der Oberfläche der Stabüberzüge einen bestimmten Höchstwert nicht überschreiten darf. Bei gegebener Durchflußmenge läßt sich daher eine hohe Leistungsdichte nur erreichen, wenn man die mittlere Temperatur des Kühlmittels tief hält und so ein großes Temperaturgefälle zwischen Kühlmittel und Brennstoffstab erzeugt. Um einen hohen Wirkungsgrad für die Umwandlung von Wärmeleistung in elektrische Leistung zu erzielen, ist man jedoch bestrebt, die mittlere Kühlmitteltemperatur so hoch als möglich zu halten. Sowohl eine Verbesserung des Wirkungsgrades als auch eine Steigerung der Leistung vermindern die Kosten für die von der Anlage abgegebenen KWh. Da aber mit dem Anwachsen der einen Größe ein Abfallen der anderen verbunden ist, gibt es eine bestimmte Aus- und Eintrittstemperatur des Kühlmittels, bei der die Elektrizitätskosten am niedrigsten sind. [5]
engl.: optimum temperature conditions
franz.: conditions optimaux de température
Lit.: C. H. Robbins, Selection of Optimum Temperature, Cond. in Power React. and their Heat Exch. Systems, Chemical Engineering Progress Symposium Series, No. 12, Vol. 50, New York, 1954, S. 181.

Temperaturbewegung, ungenauer Ausdruck für *Wärmebewegung. [7]

Temperaturgrenzschicht. Bei Strömungen mit großen *Reynolds-Zahlen läßt sich das von der Flüssigkeit durchströmte Gebiet in zwei Bereiche auf-

teilen. Der eine Bereich bildet eine sog. Grenzschicht in unmittelbarer Nähe von festen Wänden, in dem die Gesetze der zähen Flüssigkeit gelten, da wegen der dort stets vorhandenen starken Geschwindigkeitsgradienten die Reibungskräfte nicht vernachlässigt werden können. In dem übrigen Bereich gelten in guter Näherung die Gesetze der reibungsfreien Flüssigkeit. Wird die Flüssigkeit geheizt oder gekühlt, so zeigt das sich dabei ausbildende Temperaturfeld ebenfalls Grenzschichtcharakter, d. h. das Temperaturfeld ändert sich etwa so wie das Geschwindigkeitsfeld, so daß in der sog. Temperaturgrenzschicht besonders hohe Temperaturgradienten auftreten. Während der Wärmeaustausch in der freien Strömung hauptsächlich durch turbulente Mischbewegung verursacht wird, überwiegt in der T. der molekulare Austausch. Diese Theorie versagt jedoch bei kleinen *P r a n d t l - Zahlen (Na, K, Na-K-Legierung). Hier stellt sich der größte Temperaturabfall im turbulenten Gebiet ein. Es wurde daher zur Beschreibung des Wärmeübergangs noch ein halblaminares Gebiet eingeführt; eine Methode, die auf eine scharfe Einteilung in verschiedene Gebiete verzichtet, scheint jedoch bei kleinen P r a n d t l - Zahlen die Verhältnisse besser zu treffen. [5]

engl.: temperature boundary layer

franz.: couche limite (de température)

Lit.: S. z. B. G. D. Mattioli, Theorie der Wärmeübertragung in glatten und rauhen Rohren, Forsch. Ing.-Wesen 11, 149–158, 1940. – H. Reichardt, Die Grundlagen des turbulenten Wärmeübergangs, Arch. ges. Wärmetechn. 2, 129–142, 1951

Temperaturkoeffizient der Reaktivität. Die Abhängigkeit der Reaktivität eines gegebenen Reaktors von der Temperatur der Neutronen T_N und den der Materialien T_M (meist $T_M = T_N = T$) wird bei den in Frage stehenden Temperaturdifferenzen mit guter Genauigkeit dargestellt durch eine nach dem zweiten Glied abbrechende Reihenentwicklung

$$\varrho(T, \ldots) = \varrho_0 + (T - T_0)\left(\frac{\partial \varrho}{\partial T}\right)_{T = T_0} . \qquad (1)$$

$(\partial\varrho/\partial T)_{T_0}$ heißt der T. Die Temperaturabhängigkeit von ϱ kommt zustande durch die Temperaturabhängigkeit der Wirkungsquerschnitte, der Dichte des Mate-

rials, des Gesamtvolumens und des Fermi-Alters. Er ist eine für die Regelung des Reaktors außerordentlich wichtige Größe. Wenn $(\partial\varrho/\partial T)_{T_0} < 0$, so bedeutet dies, daß eine irgendwie entstandene Erhöhung der Temperatur des Reaktors die Reaktivität reduziert und damit der eingetretenen Temperaturerhöhung entgegenwirkt. In diesem Fall spricht man von einem selbststabilisierenden oder selbstregulierenden Reaktor. Ein solcher Reaktor hält sein Leistungsniveau mit nur sehr geringfügigen Veränderungen der Regelstäbe.

Temperaturkoeffizient der Reaktivität

Der Temperatureinfluß auf die Reaktivität erfolgt

1. über die vier Faktoren von $k_\infty = \varepsilon \cdot \eta \cdot p \cdot f$ und

2. über die Gruppenkonstanten L, τ, B.

Die zweite Gruppe ist wesentlich mehr bestimmend, so daß man die erste häufig unterdrücken kann. Im einzelnen gilt:

ε: Weitgehend T-unabhängig, da durch energiereiche Neutronen bestimmt.

η: Sehr schwache Temperaturabhängigkeit, da Quotient zweier Wirkungsquerschnitte mit fast gleichem T-Gang.

p: Wird mit T kleiner, hauptsächlich durch die Dopplerverbreiterung der Absorptionsresonanz des Urans.

f: Im heterogenen Reaktor wächst f mit der Temperatur, da durch die dann kleineren Wirkungsquerschnitte relativ mehr Neutronen im Brennstoff absorbiert werden. Dies gibt einen positiven Anteil zum T. Die Dichteänderung des Kühlmittels vergrößert f.

L^2: Die Diffusionslänge wächst wegen der Temperaturabhängigkeit der Wirkungsquerschnitte mit T, was einen erhöhten Neutronenverlust durch Aus-

strömen nach sich zieht. Auch infolge einer Temperaturabhängigkeit der Dichte d der Reaktormaterialien ändert sich L^2: $L^2 \sim d^{-2}$.

τ: Die Temperaturabhängigkeit des Fermialters τ ist im wesentlichen durch die des Streuquerschnittes Σ_s gegeben, die durch die Dichteänderung Δd bedingt ist: $\tau \sim d^{-2}$.

B: Die Flußwölbung wird durch die thermische Ausdehnung der Spaltzone kleiner, wodurch ein positiver Anteil zum Temperaturkoeffizienten entsteht.

Eine Erwärmung des Kühlmittels hat eine Verringerung seiner Dichte und damit der gleichzeitig in der Spaltzone vorhandenen Kühlmittelmenge zur Folge. Wirkt dieses überwiegend als Moderator, so tritt dadurch ein Reaktivitätsverlust ein; wirkt es im wesentlichen als Absorber, so wächst die Reaktivität.

Es ist zweckmäßig, einen schnellen T. (gegeben durch Brennstoffanteil) und den erst nach einer gewissen Zeit wirksamen totalen T. zu unterscheiden. Weiter ist zu beachten, daß eine Temperaturabhängigkeit des T. vorhanden ist.

Die Größenordnung des totalen T. in den verschiedenen Reaktortypen beträgt:

Uran-Graphit:	rund $-3 \cdot 10^{-5}$ °C^{-1}
Uran-H_2O:	rund $-3 \cdot 10^{-4}$ °C^{-1}
homogener Reaktor:	rund $-3 \cdot 10^{-3}$ °C^{-1}
Uran-Graph.-Na-Typ:	rund $+3 \cdot 10^{-5}$ °C^{-1}
(der schnelle T. ist negativ, u. U. auch der totale bei hohen Temperaturen)	
schneller Reaktor:	rund $-2 \cdot 10^{-5}$ °C^{-1}

[7, 21]
engl.: temperature coefficient of reactivity
franz.: coefficient de température de la réactivité

Temperaturleitfähigkeit. Unter T. versteht man den Quotienten $\lambda/c\,\varrho$, wobei λ die Wärmeleitfähigkeit, c

die spezifische Wärme und ϱ die Dichte ist. Ihre Dimension ist in technischen Einheiten m^2/h. [5]
engl.: thermal diffusivity
franz.: conductibilité thermique (ou calorique)

Temperaturschäden in Reaktoren sind solche, die ausschließlich auf zu hohe Temperaturen zurückzuführen sind. Sie sind gegen *Strahlenschäden abzugrenzen. Die wichtigsten T. sind: a) thermische Zerstörungen der Brennstoffhülsen, b) Änderung der *Kristallstruktur von Brennstoff und Werkstoffen und damit verbundene Volumänderungen, c) Überhitzung und Zersetzung des Kühlmittels und damit verbundene Schädigungen in den Kreisläufen.
Mögliche T. der Gruppe a) sind besonders bei Reaktoren mit natürlichem Uran zu beachten, bei denen für die Hülsen außer dem teuren Zirkon praktisch nur sehr weiche Metalle, wie Aluminium und Magnesium, und als Brennstoff und Moderator sehr spröde Stoffe, wie Graphit und bestimmte Karbide und Oxyde, in Frage kommen. Die unter b) genannten Strukturänderungen ergeben bei ungenügender „Beruhigung" des natürlichen Brennstoffs (durch geeignete Legierungszusätze) u. U. sehr starke Verformungen der Brennstoffstücke, die ebenfalls zu Beschädigungen der Schutzhüllen führen können. Außerdem können dadurch Verstopfungen der zumeist sehr engen Kühlkanäle eintreten, die ihrerseits weitere T. nach sich ziehen. Fall c) ist vor allem bei Kühlung mit organischen Flüssigkeiten oder bestimmten Salzlösungen von Bedeutung. Die T. stellen im allgemeinen die am ersten zu erwartenden und deshalb wegen ihrer schwerwiegenden Konsequenzen besonders ernst zu beurteilenden Gefahrenquellen dar. Ihre Vermeidung ist eine der Hauptaufgaben des *Sicherheitssystems. [9]
engl.: temperature damage
franz.: dommage par la température
Lit.: The Reactor Handbook, Vol. 3, Materials, McGraw-Hill, New York, 1955.

Temperaturstabilisierung, Dämpfung und Begrenzung der näherungsweise exponentiell an- und abschwellenden Neutronenflußänderung in einem nichtstationären Reaktor infolge der Reaktivitätsabnahme

bei Temperatursteigerungen (negativer *Temperaturkoeffizient der Reaktivität). Die Güte der T. hängt von der Größe des negativen Temperaturkoeffizienten und von der Geschwindigkeit der Temperatureinstellung ab. Kleine Temperaturkoeffizienten verlangen große Temperaturänderungen zum Ausgleich von Reaktivitätsänderungen und ergeben deshalb eine große Temperaturempfindlichkeit gegenüber Reaktivitätsstörungen. Große Temperatureffekte (bei Vollast) erfordern andererseits große Reaktivitätsreserven im kalten Zustand (*Kaltreaktivitäten) und bewirken dadurch Schwierigkeiten bei der Auslegung des Reaktors und des Sicherheitssystems.

Besondere Sicherheitsprobleme treten auf, wenn neben einem großen Temperaturkoeffizienten große Temperaturverzögerungen bestehen, so daß auch große Überschußreaktivitäten, die sehr schnelle Leistungsänderungen zur Folge haben, erst bei sehr hohen Leistungsüberschlägen kompensiert werden. Die daraus folgenden überhöhten Temperaturen stellen wesentlich größere Anforderungen an das Sicherheitssystem als im anderen Fall der Ausgleich der statischen Empfindlichkeit bei kleinen Temperaturkoeffizienten durch eine zusätzliche Regelung erfordert. In der Praxis wird deshalb im allgemeinen eine gute T. durch kleine Temperaturverzögerungen wesentlich angenehmer empfunden als eine solche durch große Temperaturkoeffizienten.

Eine von Reaktivitätsänderungen unabhängige T. spielt in der Reaktortechnik vor allem bei den sog. Hochtemperaturreaktoren eine Rolle, bei denen der nichtlineare Wärmeübertragungsmechanismus der Wärmestrahlung entscheidend wird. Man beachte jedoch, daß dadurch primär nur die Abhängigkeit zwischen Leistung und Temperatur, nicht dagegen die zwischen Reaktivitätsänderungen und Temperaturen verringert wird. [9]

engl.: temperature stabilization

franz.: stabilisation par température

Lit.: M. A. Schultz, Control of Nuclear Reactors and Power Plants, McGraw-Hill, New York, 1955. – R. V. Moore, Proc. of the Inst. of Electrical Engrs., Vol. 100, Part 1, S. 90 (1953). – J. U. Koppel, H. Schultz, Journ. of Nucl. Energy 3, 312 (1956). –

R. J. Cox, J. Walker, Proc. of the Inst. of El. Engrs. 103, B, 577 (1956).

Temperaturüberschlag, *Überschlag der Temperatur über den stationären Endwert. Der T. ist wegen evtl. *Temperaturschäden von besonderer Bedeutung für die Auslegung des Sicherheitssystems eines Reaktors. [9]

engl.: temperature overshoot

franz.: excès de température, surchauffage, échauffement excessif

Temperaturverteilung. Bei einem Reaktor variiert gewöhnlich der Neutronenfluß sowohl in axialer als auch radialer Richtung, und zwar fällt er im allgemeinen von einem Höchstwert in der Mitte nach außen hin ab. Entsprechend variiert auch die Wärmequellendichte. Trotzdem ist man bestrebt, über den Reaktorquerschnitt eine gleichmäßige Temperaturverteilung zu erhalten, um die Austrittstemperatur des Kühlmittels zu steigern und dadurch den thermischen *Wirkungsgrad zu verbessern und um nebenbei die *Wärmespannungen zu reduzieren. Dies läßt sich erreichen durch

a) eine entsprechende Regulierung der Kühlmittelgeschwindigkeit mit Hilfe von Drosseln am Eintritt in die Kanäle von gleichem Querschnitt *(engl.: orificing)*, wobei man dann im zentralen Kanal die größte Geschwindigkeit hat und in den äußeren die kleinste;

b) eine entsprechende Änderung der Kanalquerschnitte, so daß bei gleichem Druckabfall zwischen Aus- und Eintritt die Durchflußmenge in den Gebieten mit höherer Wärmequellendichte größer ist;

c) Erzeugung einer konstanten Leistungsdichte mittels einer entsprechenden Verteilung von spaltbarem Material bei gleich großen Kühlkanälen (*engl.: flux-flattening*, s. Flußabflachung). [5]

engl.: temperature distribution

franz.: distribution de température

Lit.: R. L. Murray, Nuclear Reactor Physics, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1957.

Temperaturverzögerung, zeitlicher Abstand zwischen Leistungs- und Kühlungsänderungen einerseits

Temperaturverzögerung

und den entsprechenden Temperaturänderungen andererseits. Zur Beurteilung der T. dient im allgemeinen die *Übergangsfunktion der Temperatur nach einem typischen *Steuerverlauf der Leistung. Als Zahl für die T. wird dabei entweder die Zeit bis zum Erreichen einer bestimmten prozentualen Annäherung an den anschließenden stationären Verlauf oder bei näherungsweise exponentiellen Übergängen die zugehörige Zeitkonstante angegeben. Der erste Fall umfaßt den allgemeinen Fall willkürlicher räumlicher Leistungsverteilung und beliebiger Wärmeleitungs- und Erzeugungsmedien. Der zweite Fall gilt dagegen nur, wenn a) überall lineare Differentialgleichungen zwischen Temperaturen und Wärmeleistung bestehen, b) die Leistungsverteilung immer der am gleichen Ort vorhandenen Temperaturverteilung ähnlich ist, c) die Temperaturleitfähigkeit in allen Gebieten mit direkter Leistungserzeugung gleich groß ist und d) die Ausbreitungszeit in allen übrigen Wärmeleitungsgebieten und an den Übertragungskanten gegenüber dem Zeitablauf im Erzeugungsgebiet vernachlässigt werden kann.

Bei Reaktoren gilt bezüglich dieser Bedingungen folgendes. Zu a): Nichtlinearitäten treten vor allem bei der Oberflächenkühlung in der Nähe des Siedepunkts und in den Kennlinien der Wärmeaustauscher auf. Zu b): Die Leistungsverteilung unterscheidet sich wegen des in den Brennstoff eindringenden Neutronenstromes meistens erheblich von der die austretende Wärmeströmung charakterisierenden Temperaturverteilung. Zu c): Gleiche Leitfähigkeit gilt nur soweit, als die entsprechende Temperaturabhängigkeit im Uran selbst und die Leistungserzeugung außerhalb des Urans vernachlässigt werden können. Zu d): Die Transportzeiten außerhalb des Brennstoffs sind im allgemeinen nicht direkt vernachlässigbar, sondern nur insoweit, als die zugehörigen Temperaturänderungen oft relativ klein sind. Im allgemeinen stören bei idealisierten Darstellungen der T. bei Forschungsreaktoren mit natürlichem Uran vor allem Punkt b) und evtl. c), bei Kraftwerksreaktoren mit angereichertem Brennstoff dagegen vor allem a) und d).

Zahlenmäßig ergeben sich für die T. der Brennstoffelemente bei Reaktoren mit natürlichem Uran grob etwa 1 bis 10 s, bei Reaktoren mit angereichertem Uran etwa 10- bis 100mal kleinere Werte und für den Moderator jeweils ungefähr 10^2- bis 10^3mal größere Werte. [9]

engl.: temperature (time) delay, temperature lag
franz.: temps de réponse en température, inertie thermique

Lit.: M. A. Schultz, Control of Nuclear Reactors and Power Plants, McGraw-Hill, New York, 1955. – The Reactor Handbook, Vol. 2, Engineering, McGraw-Hill, New York, 1955.

Temperaturwechselprüfung. Häufiger Temperaturwechsel führt bei vielen Metallen, insbesondere aber beim anisotropen Uranmetall in bestimmten Fällen zu Schäden, die sich ähnlich wie *Strahlenschäden äußern können (vgl. Uran). So findet z. B. bei texturhaltigem Uranmetall eine bleibende Änderung der Probenabmessungen im gleichen Sinne wie durch Abbrand im Reaktor statt. Die Mechanismen, die zu diesen Schäden führen, sind aber in beiden Fällen verschieden, so daß es nur in Sonderfällen möglich ist, die T. als ein „Modell" für das Verhalten von Uran im Reaktor zu betrachten. Eine vorhandene Textur im Uran führt zu Längenänderungen, die beim Fehlen der Textur ausbleiben. Man kann deshalb durch eine T. feststellen, ob die zur Herstellung der *Brennstoffelemente notwendige *Wärmebehandlung zur Texturzerstörung wirksam war oder nicht. Eine solche Prüfung läßt sich meist einfacher durchführen als andere Methoden zum Nachweis von Textur (etwa Dilatometrie oder Röntgenanalyse). Um meßbare Effekte zu erhalten, braucht man im allgemeinen mehrere hundert Zyklen zwischen Zimmertemperatur und 550 oder 600 °C. Andere Fachleute empfehlen thermische Zyklen bis in die β- oder γ-Phase. Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, müssen Abkühl- und Aufheizzeiten sowie die Verweilzeiten bei den Extremtemperaturen sorgfältig eingehalten werden. [20]

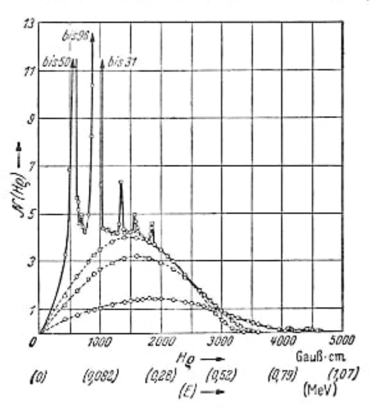
engl.: thermal cycling *franz.: cyclage thermique*

Lit.: Chiswik u. Kelman, Peaceful Uses of Atomic Energy, Bd. 9, S. 147, Genf, 1955.

Temperguß, s. Glühen.
engl.: malleable iron *franz.: fonte malléable*

Tempern, s. Glühen.
engl.: annealing *franz.: recuit* bzw. *revenu*

Terbium 160 entsteht bei Neutronenbestrahlung des einzigen in der Natur vorkommenden Terbium-Isotops gemäß $^{159}Tb\,(n, \gamma)\,^{160}Tb$. Wegen der hohen spezifischen Aktivität von 220 mC/g, die in einem langsamen Neutronenfluß von 10^{11} n cm^{-2} s^{-1} erreicht werden kann, läßt sich das Isotop als Strahlungsquelle und Leitisotop verwenden. Das Betaspektrum ist sehr komplex und zeigt intensitätsreiche Linien. Das Gammaspektrum weist im Bereich von 60 keV bis 1,45 MeV



β-Spektrum von $^{160}_{65}Tb$.
Die punktierten Linien zeigen eine mögliche Aufspaltung in drei Komponenten.

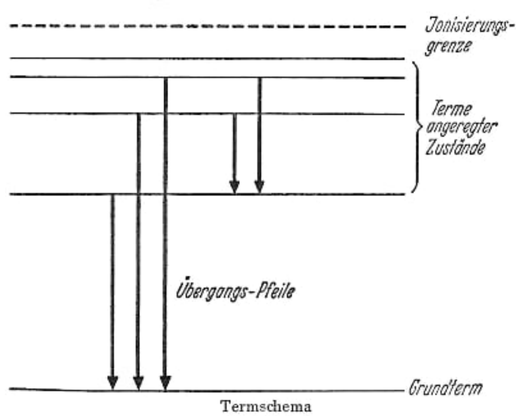
ca. 70 Linien auf. Halbwertszeit 73 d. Ein ^{161}Tb (3,6 min, β^- 0,55 MeV, K-Elektronen 0,049 MeV) entsteht beim Zerfall des ^{161}Gd. [16]
engl.: terbium *franz.: terbium*

Lit.: Houtermans, Geiß, Müller, Tabelle wichtiger β-Spektren, in Landolt-Börnstein, Zahlenwerte und Funktionen, Bd. I, Teil 5, S. 445, Springer, Berlin, 1952.

Term, einer der im Termschema zusammengestellten Zahlenwerte von Frequenzen (ausgedrückt in s^{-1}) oder von Wellenzahlen (ausgedrückt in cm^{-1}) eines Atomkerns, Atoms, Ions oder Moleküls, als deren Dif-

ferenzen sich die Wellenzahlen der Spektrallinien der betreffenden Systeme ergeben.
Vom Standpunkt des Atombaus bedeuten die T.e die durch h (P l a n c k sches Wirkungsquantum) bzw. durch $h\,c$ (c Lichtgeschwindigkeit) dividierten Energiewerte der Energieniveaus des atomaren Systems. Man kann daher die T.e statt als Frequenzen oder Wellenzahlen auch als Energien in erg oder eV angeben. [1]
engl.: term, level *franz.: terme*

Termschema, die Zusammenstellung aller Terme eines atomaren Systems, meist in übersichtlicher zeichnerischer Darstellung, wie es etwa die Abb. (nicht maßstäblich) für das T. des Wasserstoffatoms zeigt. Die Energien (oder auch Frequenzen oder Wellenzahlen) der einzelnen Terme werden maßstäblich als Abstände der waagrechten Striche so aufgetragen, daß der Strich, welcher den Term mit der niedrigsten Energie (den Grundterm bzw. Grundzustand) darstellt, am weitesten unten liegt.
Das T. ist nur bei einem System mit e i n e m Elektron (z. B. Wasserstoffatom) durch e i n e Sprossenleiter mit regelmäßiger Abstandsfolge darstellbar (wie in der Abb.). Bei komplizierteren Systemen müssen mehrere



Termschema

Leitern ineinander oder übersichtlicher nebeneinander gestellt werden.

Die Quantenenergien der ausgestrahlten Spektrallinien bzw. deren Wellenzahlen ergeben sich aus der Länge der Pfeile, welche den Übergang von einem Ausgangsterm zu einem Endterm darstellen. Bei der Einzeichnung der Pfeile in das T. sind die *Auswahlregeln zu beachten.

Analog zur Elektronenhülle kann man ein T. auch für den Atomkern aufstellen. Die Lage der Niveaus zueinander ist wesentlich komplizierter. Eine gewisse Ordnung wurde durch das *Schalenmodell der Atomkerne ermöglicht. Beispiele für T. sind bei den im Lexikon aufgeführten und beschriebenen radioaktiven Isotopen, z. B. Tantal 182, Samarium 153 zu finden. [1, 7]

engl.: term scheme

franz.: représentation schématique des termes

Terphenyl. Das trimere der *Polyphenylreihe. Seine Strahlungsstabilität ist günstiger als die des Diphenyl. T. hat drei verschiedene Isomere mit verschiedenen Eigenschaften. T. wirkt, in kleinen Mengen Diphenyl zugesetzt, strahlungsstabilisierend (G-Wert sinkt etwa um 50 %).

T. wird oft als Leuchtstoff in Szintillationszählern verwendet.

Bei den T.-Isomeren sinkt die Strahlungsstabilität von p- über o- zu m-Terphenyl.

p-Terphenyl:

$G_{H_2} = 0{,}003$, Siedep. = 420 °C, Schmp. = 212 °C

o-Terphenyl:

$G_{H_2} = 0{,}005$, Siedep. = 332 °C, Schmp. = 57 °C

m-Terphenyl:

G_{H_2} = 0,005, Siedep. = 363 °C, Schmp. = 85 °C [18]

engl.: terphenyl *franz.: terphényle*

Tetraäthylenglycol, s. Pentaäther.

engl.: tetraethyleneglycol *franz.: tétraéthylène-glycol*

tetragonal, s. Kristallstruktur.

engl.: tetragonal *franz.: tétragonal*

Textur, bevorzugte kristallographische *Orientierung der Kristallite eines polykristallinen Materials. Bei Verformung z. B. stellen sich die Kristallite so ein, daß gewisse kristallographische Richtungen und Ebenen unter einem bestimmten Winkel zur Verformungsrichtung stehen. Da das Kornwachstum von der gegenseitigen Orientierung der Kristalle abhängt, bildet sich auch bei der *Rekristallisation wieder eine Vorzugsorientierung der neugebildeten Körner aus (Rekristallisationstextur). Bei orientierungsabhängigen Eigenschaften macht sich die T. in einer *Anisotropie des polykristallinen Materials bemerkbar. – T.-Untersuchungen werden mit röntgenographischen Methoden durchgeführt. [4]

engl.: texture *franz.: texture*

Lit.: R. Glocker, Materialprüfung mit Röntgenstrahlen, 3. Aufl., Springer, Berlin, 1949.

Thallium, chemisches Zeichen Tl, Ordnungszahl 81,

Isotop	Alte Bez.	Erzeugung	Halbwertszeit	Strahlung	Umwandl.-Produkt
^{204}Tl	—	$^{203}Tl\ (n, \gamma)$	4,1 a	β^-: 96 % K: 4 %	^{204}Pb ^{204}Hg
^{207}Tl	Ac C″	$^{211}Bi \xrightarrow{\alpha}$ Ac-Reihe	4,76 min	β, γ	^{207}Pb
^{208}Tl	Th C″	$^{212}Bi \xrightarrow{\alpha}$ Th-Reihe	3,1 min	β, γ	^{208}Pb
^{210}Tl	Ra C″	$^{214}Bi \xrightarrow{\alpha}$ U-Reihe	1,32 min	β, γ	^{210}Pb

Atomgewicht, 204,39. Von den verschiedenen radioaktiven Tl-Isotopen besitzt das künstliche Isotop 204 als mittelharter Betastrahler von großer Halbwertszeit technische Bedeutung. Tl-Präparate werden insbesondere als Strahlquellen für Schichtdickenmessungen nach Reflexions- und Absorptionsverfahren verwendet. In der Tabelle ist das Tl-Isotop 204 den natürlichen radioaktiven Tl-Isotopen gegenübergestellt. [16]
engl.: thallium
franz.: thallium

Thenoyltrifluorazeton, s. TTA.
engl.: thenoyltrifluoracetone

thermal ratcheting, englische Bezeichnung für einen Schaden am Brennstoffelement, der insbesondere bei gasgekühlten Reaktoren auftritt. Er macht sich bemerkbar in einer Zerstörung der Ummantelung an den Enden der Brennstoffelemente. Die Ursache für diesen Schaden liegt in der verschiedenen Wärmeausdehnung von Uranmetall und Umhüllung. Al bzw. Mg als Hüllmaterial haben einen etwa doppelt so großen Ausdehnungskoeffizienten wie Uranmetall. Infolgedessen hebt sich beim Erwärmen das Hüllrohr vom Uranstab ab und schrumpft beim Abkühlen wieder auf. Wenn das nicht genau zentrisch geschieht, so können sich die Enden des Uranstabes in die Ummantelung bohren und diese plastisch strecken. Bei wiederholten thermischen Zyklen kann sie an diesen Stellen zerstört werden. [20]

thermal spike, Begriff aus der Theorie der *Strahlenschäden. Längs der Bahn eines schnellen Teilchens in einem Festkörper treten während einer Zeit von etwa 10^{-10} s Temperaturen von mehreren Tausend °C auf. Die Wärme wird aber so schnell fortgeleitet, daß der Ordnungszustand bei der hohen Temperatur gewissermaßen eingefroren wird. Ein th. sp. ist also ein fadenförmiger Bereich im bestrahlten Festkörper mit einer großen Zahl von Frenkel-Defekten. Am Ende dieses th. sp. soll es sogar zum echten Schmelzen kommen, so daß hier Bereiche mit einem gegenüber der ursprünglichen Anordnung umgeordneten Gitter entstehen, die sog. *Displacement spikes.* Die Vorstellun-

gen, die zu diesen Begriffen führen, und die Begriffe selbst sind nicht unwidersprochen geblieben. [20]
Lit.: K. Lintner u. E. Schmid, Erg. d. exakt. Naturw. 28, 302 (1955).

thermisch, Kennzeichnung desjenigen Energiebereichs, der durch die Wärmebewegung überdeckt wird, z. B. in der Verbindung th.e *Neutronen, th.e *Säule. Man spricht auch von der th.n Energie eines abgeschlossenen Systems und meint damit den Energieinhalt, der ihm als Folge der Wärmebewegung seiner Bestandteile zukommt. Dieser ist nach dem Gleichverteilungssatz leicht zu berechnen. Die mittlere Energie beträgt $^1/_2\, f\, k\, T$ je Baustein (T absolute Temperatur des Systems, k Boltzmann-Konstante, f Zahl der Freiheitsgrade). Oder man spricht von th.n Neutronen und meint solche Neutronen, die, trotzdem sie wie alle Neutronen mit einer hohen Energie aus dem Verband des Atomkerns herausgeschlagen wurden, nach genügend vielen Zusammenstößen mit den Atomkernen einer Bremssubstanz (Moderator) alle Energie verloren haben bis auf diejenige, die den Partikeln, mit denen sie wechselwirken, innewohnt. Dieser Betrag kann ihnen nicht entzogen werden. Für freie Neutronen, die keine Rotationsfreiheitsgrade haben, ist die mittlere thermische Energie $^3/_2\, k\, T$, die häufigste Energie in der Maxwell-Verteilung liegt bei $k\, T = 0{,}0253$ eV, wenn $T = 293$ °K. Bei Temperaturen in der Umgebung des absoluten Nullpunkts wird der Mindestenergieinhalt eines Systems allerdings nicht mehr durch die th.e Energie, sondern durch die Nullpunktsenergie bestimmt. [7]
engl.: thermal *franz.: thermique*

thermische Nutzung, s. Nutzung, thermische.

thermische Säule, s. Säule, thermische.

Thermistor, Halbleiterwiderstand mit hohem negativem Temperaturkoeffizienten. Er dient sowohl zur Unterdrückung von Einschaltstromstößen in Meßverstärkern als auch zur Auslösung von Relais oder Signalen bei Überschreitung von Grenztemperaturen. [6]
engl.: thermistor *franz.: thermistor*

Thermodiffusion. In einem Gasgemisch aus zwei Sorten verschieden schwerer Moleküle, in welchem ein

Thermodiffusion Temperaturgefälle herrscht, diffundieren die leichteren Moleküle vorzugsweise in Richtung steigender Temperatur, die schwereren in umgekehrter Richtung. In einem Kasten also, dessen Deckel geheizt und dessen Boden gekühlt wird, sammeln sich die leichteren Moleküle überwiegend in der Nähe des heißen Deckels, die schwereren Moleküle überwiegend in der Nähe des kalten Bodens an (wobei die Wirkung der Schwerkraft, welche daneben noch besteht, unberücksichtigt bleiben soll); es tritt also infolge des Temperaturgefälles ganz von selbst eine teilweise Entmischung des Gasgemisches auf (alltägliches Beispiel: Wandverschmutzung über einem Heizkörper). Diese Erscheinung nennt man T. Im Gleichgewicht mit der gewöhnlichen Diffusion stellt sich ein Konzentrationsunterschied Δc zwischen Orten mit dem Temperaturunterschied ΔT ein:

$$\Delta c = c(1 - c)\,\alpha \ln T_2/T_1 \,.$$

$c, 1 - c$ = Molenbrüche der beiden Komponenten. Der Thermodiffusionsfaktor ist durch

$$\alpha = \alpha_0 R_T$$

gegeben, worin $\alpha_0 = 0{,}89 \cdot (m_1 - m_2)/(m_1 + m_2)$ der Thermodiffusionsfaktor für starre elastische Kugeln, R_T ein Korrekturfaktor für das verwendete Molekülmodell ist.

Der Effekt ist außerordentlich geringfügig. Bringt man in den genannten Kasten z. B. ein Gemisch von 50 % Stickstoff und 50 % des etwas schwereren Sauerstoffs, heizt den Deckel auf 500 °C und kühlt den Boden auf 0 °C, so erhält man oben den leichteren Stickstoff jetzt mit 50,3 % statt mit 50 %. Trotz der Geringfügigkeit des Effektes ist die T. technisch zur Trennung von gasförmigen Isotopen herangezogen worden im Clusiusschen *Trennrohr, das heute eine der wirkungsvollsten Methoden zur Isotopentrennung liefert.

Hierin tritt eine vielfache Wiederholung des Einzelprozesses ein. Im einfachsten Fall ist in einem vertikalen, außen gekühlten Glasrohr ein Heizdraht ausgespannt, so daß in horizontaler Richtung die Th., in axialer Richtung eine Gegenstromkonvektion eintritt, indem das Gasgemisch am heißen Draht nach oben, am gekühlten Rand nach unten strömt. Th. und Gegen-

stromkonvektion sind durch den Temperaturgradienten miteinander gekoppelt.

Außer drahtgeheizten Glas- und Metallrohren sind doppelwandige Rohre verwendet worden, von denen das innere geheizt, das äußere gekühlt wird.

Auch in Flüssigkeitsgemischen treten in einem Temperaturgefälle Konzentrationsunterschiede auf (Ludwig-Soret-Effekt). Der wesentlich kleinere Diffusionskoeffizient hat sehr große Einstelldauern zur Folge.

Die Entkopplung der Gaskonvektion von der Th. gelingt in der sog. Trennwalze. In einem feststehenden, gekühlten Rohr rotiert ein geheizter Zylinder, der das Gas durch innere Reibung mitnimmt. Bei günstigstem Wandabstand, möglichst großem Temperaturunterschied und durch die Rotation des inneren Zylinders vorgegebener günstigster Konvektionsgeschwindigkeit des Gases ist der theoretische Wirkungsgrad der Anordnung sehr hoch.

Zur Messung des Einzeltrenneffektes der Th. bei isotopen Gemischen ist die Trennschaukel besonders geeignet, bei der durch einen oszillierenden Gasstrom zwischen dem oberen Ende einer Trenneinheit und dem unteren Ende der nächsten eine Vervielfachung des Einzeleffektes zum Gesamttrennfaktor $Q = q^Z$ hervorgerufen wird (Z Zahl der Trenneinheiten).

Die Umkehrung des Thermodiffusionseffektes, der Diffusionsthermoeffekt, besteht in einem Temperaturgradienten an der Grenzfläche zweier Gase während ihrer Diffusion ineinander. Die maximale Temperaturdifferenz ΔT ist angenähert durch

$$\Delta T = 0{,}2\, T_0 \frac{R}{C_v} \alpha \,\Delta c$$

gegeben, worin T_0 die Anfangstemperatur, Δc der anfängliche Konzentrationsunterschied der Gase ist. [1, 14]

engl.: thermodiffusion *franz.: thermodiffusion*

Lit.: Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, 3. Aufl., München-Berlin, 1951, Bd. 1: Chemischer Apparatebau und Verfahrenstechnik. – S. Chapman, T. G. Cowling, The Mathematical Theory of Non-Uniform Gases, Cambridge, 1939. – A. Eucken, Lehrbuch der chemischen Physik, Bd. II/1, Leipzig, 1948.

Thermokonvektion, s. Gaszentrifuge und Thermodiffusion.
engl.: thermo-convection
franz.: convection thermique

Thermokraftelement, Vorrichtung zur Nutzung der radioaktiven Strahlungsenergie als elektrische Energie, bei der die Wärmewirkung der Strahlung ausgenützt wird, um die Lötstelle eines Thermoelementes zu erhitzen (s. Atombatterie). [16]
engl.: radioactive energy battery
franz.: élément de pile thermoélectrique

thermonuklear nennt man eine Kernreaktion, wenn die kinetische Energie der Stoßpartner aus deren Wärmebewegung stammt. Zu derartigen Reaktionen sind Temperaturen von mindestens $\sim 10^6$ ° (130 eV), voraussichtlich jedoch rund 300 Millionen Grad (40 000 eV) notwendig, wenn man eine nennenswerte Ausbeute erreichen will. Diese steigt mit zunehmender Temperatur beträchtlich. Die physikalischen Bedingungen für den Ablauf th.r Reaktionen sind bisher nur im Inneren der Fixsterne, deren Ausstrahlung durch sie gedeckt wird, und bei Wasserstoffbomben realisiert. Eine r e g e l - b a r e Anordnung hat bis heute unter irdischen Verhältnissen nicht geschaffen werden können. Versuche nach dieser Richtung werden mit Gasentladungen, etwa unter Ausnutzung des *P i n c h - Effekts, Stoßwellen oder der Gesetze der *Magnetohydrodynamik unternommen. Die bisher mit Kondensatorentladungen kurzfristig erreichten Temperaturen liegen bei mehreren Millionen Grad. [7]
engl.: thermonuclear
franz.: thermonucléaire

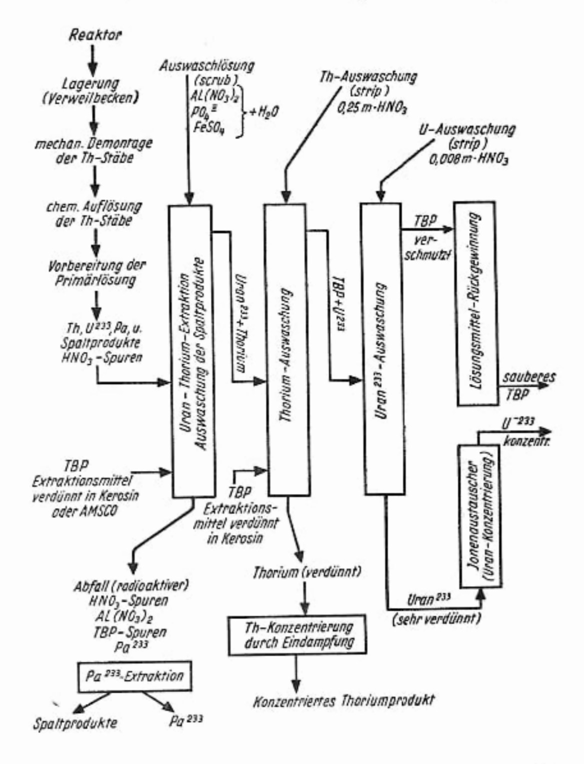
Lit.: I. Kurchatow, Atomnaja Energija (Moskau) 1, Nr. 3, S. 65, 1956. – Übersetzungen in Nucleonics 14, Heft 6, S. 36, 1956, und Atomenergie 1, 387, 1956. – Post, Rev. of mod. Phys., 1956.

Thor-B-Quelle, Apparat zur Darstellung von reinem Thor B (Pb-212) aus natürlichem Thorium durch „Abmelken“ („Thor-B-Kuh“). Das aus dem Thorium entstehende gasförmige Thoron gelangt aus dem Schälchen a durch Diffusion in den Gasraum b, wo es über ThA (0,158 s Halbwertszeit) in ThB zerfällt. Durch den Rückstoß des α-Zerfalls wird das ThB ionisiert und als geladenes Teilchen an der Kathode c abgeschieden.

Durch Ablösen mit Säure erhält man eine trägerfreie Lösung von ThB. [3]

Thorex-Prozeß

Thorex-Prozeß ist die Bezeichnung für den bekanntesten amerikanischen Thorium-Uran-Flüssig-Flüssig-Extraktionsprozeß. Als organisches Extraktionsmittel für Uran und Thorium wird TBP verwendet. In der Praxis hat sich für neutronenbestrahltes Thorium mit Bestrahlungszeiten länger als 90 Tagen ein zweistufiger Extraktionsprozeß bewährt, s. Fließschema. Das neutronenbestrahlte Konvertermaterial Thorium wird in 13 molarer HNO_3 in Anwesenheit von Hg^{++}-Ionen als Auflösungskatalysator der Al-Auflösung und F^--Ionen als Katalysator der Th-Auflösung, chemisch aufgelöst.



Thorex-Prozeß

Diese Primärlösung, die aus Th, dem neu entstandenen U-233 und verschiedenen Spaltprodukten besteht, wird bei Temperaturen von 255 °C im Rückfluß erhitzt, die vorhandene Restsäure dampft bis auf Spuren vollständig ab. Durch diesen Prozeß werden Spuren eines evtl. vorhandenen Thoriumoxyds aufgelöst, Siliziumverbindungen, die zu Emulsionsbildung neigen, werden dehydratisiert, Spaltprodukte, Protaktinium, Zirkon, Niob und Ruthenium werden in eine weniger leicht extrahierbare Form übergeführt. Man verdünnt anschließend den Primärrückstand auf den ungefähren Wert von 1,5 m Th und 0,6 m Al mit destilliertem Wasser. Die Säurerestkonzentration darf 0,2 bis 0,4 m HNO_3 betragen. In der ersten Extraktionsstufe wird das Th gemeinsam mit dem U-233 von den Spaltprodukten mittels 42,5prozentiger TBP-Lösung (in Kerosin verdünnt) aus der wäßrigen Speiselösung extrahiert und von den Spaltprodukten, die in der wäßrigen Phase verbleiben, weitgehend getrennt. Als Auswaschlösung (*engl. scrubber*) dient eine 0,5 m Aluminiumnitratlösung + 0,005 m/l Ferrosulfat. Das Ferrosulfat dient dazu, das durch die Korrosion des Behältermaterials aus Edelstahl stets anwesende Chromat zu entfernen. Die Anwesenheit von 0,003 m/l an Phosphationen erhöht den Separationswert für Protaktinium und Zirkon. In der nachfolgenden zweiten Extraktionsstufe wird das Th vom U mittels 0,25 m HNO_3 aus dem organischen Extraktionsmittel (TBP + Kerosin) ausgewaschen. In einer dritten Extraktionskolonne wäscht man schließlich das noch in der TBP-Phase verbliebene U-233 mit 0,008 m HNO_3 in Abwesenheit von Aluminiumnitrat aus der organischen Extraktionsphase aus. Eine Anreicherung des Urans wird in Ionenaustauscherkolonnen vorgenommen.

Die Ruthenium-Entgiftung stellt ein sehr gravierendes, noch nicht befriedigend gelöstes Problem des gesamten Thorium-Uran-Extraktionsprozesses dar. Die Säurekonzentration der Primärlösung und der Extraktionsspeiselösung beeinflußt die Ruthenium-Entgiftung wesentlich. Bei niedrigen Säurewerten wird das Ruthenium in die schwer extrahierbare Hydroxylnitratform übergeführt, was bei stark sauren Lösungen nicht ein-

tritt. Durch intensive Strahleneinwirkung wird die Ruthenium-Entgiftung wesentlich im negativen Sinne beeinflußt, das Nitrat der Lösung wird durch Strahleneinwirkung in Nitrit umgewandelt, das gebildete Nitrit reagiert seinerseits mit dem Ruthenium und vergrößert seine Extraktibilität durch TBP.
Elementares Jod reagiert mit dem organischen Extraktionsmittel und kann nur mit konzentrierter HNO_3 von diesem getrennt werden. [22]
Lit.: Bruce, Fletcher, Hyman, Katz, Progress in Nuclear Energy, Serie III, Process Chemistry, Pergamon Press, London 1956. – F. R. Bruce, The Thorex Process, ORNL 57-5-20.

Thorianit. Mineral, das außer ThO_2 als Hauptbestandteil auch noch Oxyde der Seltenen Erden und Uran enthält. Thorianit ist ein wichtiges Erz zur Gewinnung von Thorium und Uran. [3]
engl.: thorianite *franz.: thorianite*

Thoride, s. Aktinide.
engl.: thorides *franz.: thorides*

Thorit. Mineral, das im wesentlichen aus Thoriumsilikat $ThSiO_4$ besteht. [3]
engl.: thorite *franz.: thorite*

Thorium, das drittschwerste der natürlichen chemischen Elemente, chemisches Symbol Th, ein Metall mit der Dichte 11,7, Ordnungszahl 90, Atomgewicht 232,12 und Schmelzpunkt 1750 °C. T. kristallisiert unterhalb von 1400 °C kubisch-flächen-zentriert, darüber kubisch-raum-zentriert.
Das natürliche T. besteht fast völlig aus dem Isotop der Massenzahl 232, welches radioaktiv ist mit einer Halbwertszeit von $1{,}39 \cdot 10^{10}$ Jahren (also noch langlebiger als Uran) und α-Strahlen von 4,0 MeV Energie aussendet. Es ist die Ausgangs-Substanz der T.-Zerfallsreihe, geht zunächst in Mesothorium 1 über, schließlich nach sechsmaligem α-Zerfall und viermaligem β-Zerfall in das Bleiisotop der Massenzahl 208.
Außerdem hat das T. noch fünf weitere, in den natürlichen radioaktiven Zerfallsreihen vorkommende Isotope mit Massenzahlen zwischen 227 und 234 und eine ganze Anzahl künstlich radioaktiver Isotope.
Der Kern des natürlichen T.-Isotops 232 läßt sich wie der Urankern 238 durch rasche Neutronen spalten

(s. Kernspaltung). Da außerdem das Th 232 leicht ein Neutron anlagert und Th 233 bildet, das durch zweimaligen β-Zerfall in das Uranisotop U 233 übergeht, und da dieses letztere sich durch langsame Neutronen spalten läßt, kann das T. (neben dem Uran-238) als Brutstoff in Reaktoren dienen.

Die *Strahlenschäden halten sich im isotropen, kubisch flächenzentrierten Metall in geringen Grenzen, die seine Verwendbarkeit nicht beeinträchtigen. Die Kerbschlagzähigkeit scheint durch Bestrahlung im Reaktor abzunehmen. Dies Verhalten ist normalerweise auf kubisch raumzentrierte Metallgitter beschränkt. [1, 20]

engl.: thorium

franz.: thorium

Lit.: W. Riezler, Kernphysik, 6. Aufl., Oldenbourg, München, 1958. – Landolt-Börnstein, Zahlenwerte und Funktionen, I. Bd., 5. Teil, Springer, Berlin, 1952.

Thoriumreihe, Zerfallsreihe mit der Massenzahl $4\,n + 0$, die sich vom $^{232}_{90}$Th ableitet, s. S. 497. [18]

engl.: thorium series

franz.: série du thorium

Thorium-Zyklus. Durch Neutroneneinfang im Th^{232} entsteht im Kernreaktor nach dem Schema

$$Th^{232}(n,\gamma)\,Th^{233} \xrightarrow[2{,}3\ \text{min}]{\beta^-} Pa^{233} \xrightarrow[27{,}4\ \text{d}]{\beta^-} U^{233}$$

über zwei kurzlebige Zwischenprodukte das langlebige, spaltbare U^{233}. Wird das so gewonnene U^{233} in einen Reaktor eingesetzt, so arbeitet dieser nach dem T. Z. Besonders vorteilhaft arbeitet ein thermischer Brüter mit dem Zweistoffsystem $Th^{232} + U^{233}$, s. Brennstoffzyklen. Von praktischer Bedeutung ist auch das Nebenprodukt U^{232}, da es die α- und γ-Aktivität des nach den üblichen *Wiederaufbereitungsmethoden hergestellten neuen Uranbrennstoffs wesentlich erhöht. [12]

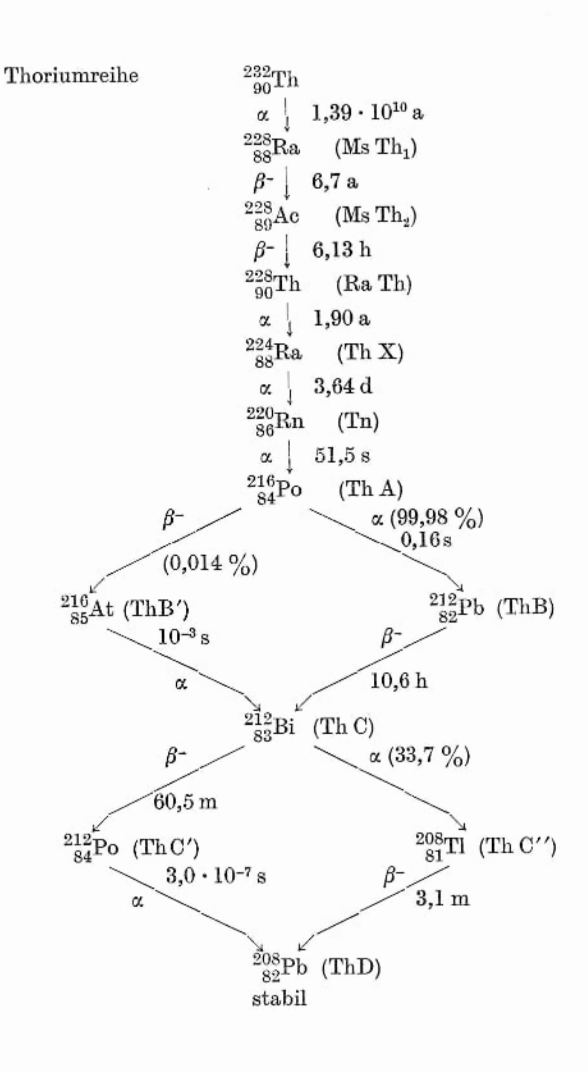
engl.: thorium cycle

franz.: cycle du thorium

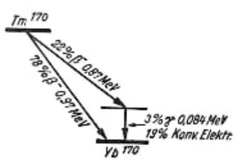
Thoron, s. Emanation.

Thulium 170, entsteht durch Bestrahlung des $^{169}_{69}$Tm durch langsame Neutronen. Mit 10^{11} n^2 cm^{-2} s^{-1} erhält man eine spezifische Sättigungsaktivität von 1,25 C/g. Das Isotop ist besonders wegen seiner weichen γ-Strah-

Thoriumreihe



lung von 84 keV bekannt, weshalb Tm-Strahlquellen an Stelle üblicher R ö n t g e n - Anlagen häufig gebraucht werden. [16]



Umwandlungsschema des ^{170}Tm
(Halbwertszeit: 127 Tage)

engl.: thulium *franz.: thulium*

Tiefendosis, s. Dosis.

engl.: depth dose *franz.: dose profonde*

Tiefstellen, Verkleinern einer *Regelgröße durch Verkleinern (Tieferstellen) des Sollwerts für die Regelung. Wird bei automatischer Auslösung durch das *Sicherheitssystem als besonders milde, jederzeit wieder rückgängig zu machende Form des *Abschaltens angewandt (Gegenoperation zu *Hochstellen.) [9]

engl.: set back

franz.: baisser (la puissance etc.)

Lit.: s. Sicherheitssystem.

Tiefungsprüfung, Prüfverfahren für die Tiefziehfähigkeit eines Werkstoffes. Nach dem Einbeul-Versuch nach E r i c h s e n wird ein Blechstreifen durch den Niederhalter gegen die Matrize gepreßt und durch einen abgerundeten Stößel bis zum Eintreten des Bruches getieft. Die Tiefe der Einbeulung wird als Werkstoffkennwert angegeben. Neben diesem Prüfverfahren wird auch die Näpfchenziehprüfung, die dynamische T. und die Bestimmung des Ziehverhältnisses angewendet. Bei der dynamischen T. wird mit hoher Geschwindigkeit verformt und die größtmögliche Tiefung ermittelt. Beim Ziehverhältnis d/D wird der größtmögliche Rondendurchmesser D, der sich mittels eines Stempels vom Durchmesser d noch einwandfrei zu einem zylindrischen Hohlkörper verformen läßt, bestimmt. [4]

engl.: cupping test

franz.: essai d'emboutissage

Lit.: DIN 50 101.

Tiefziehen, Verfahren zur spanlosen Formgebung (Kalt- oder Warmverformung), bei dem aus einem Blech durch Aufdrücken eines Stempels ein napfförmiges Werkstück hergestellt wird (z. B. Patronenhülsen). [4]
engl.: deep drawing
franz.: emboutissage

Titan (Ti), Leichtmetall mit der Dichte 4,5; Ordnungszahl 22, Atomgewicht 47,90. Schmelztemperatur 1820 ± 100 °C. Kristallstruktur: unterhalb 882° hexagonal dichteste Kugelpackung, über 882° kubisch raumzentriert. Absorptionsquerschnitt für thermische Neutronen: $\Sigma_a = 0{,}29\ \mathrm{cm}^{-1}$.
T. zeichnet sich durch seine gute Korrosionsbeständigkeit und seine guten Festigkeitseigenschaften aus; es hat eine gute Verformbarkeit. Wegen seiner relativ geringen Neutronenabsorption kommt es als Reaktorwerkstoff in Betracht. [4]
engl.: titan
franz.: titane

TME, Abk. für Tausendstel Masseneinheit, s. ME.
engl.: milli-mass unit, mmu
franz.: unité millimasse

Tokai, neues japanisches Atomforschungsinstitut in der Nähe von Tokio. Standort der ersten im Bau befindlichen bzw. geplanten Forschungsreaktoren in Japan. [24]

Toleranzdosis, s. Dosis.

Tombak, s. Messing.
engl.: tombac
franz.: tombac

Tomograph, s. Körperschichtaufnahmen.

Topfzähler, Zählrohr in Form eines kurzen Zylinders mit isolierenden glatten Endflächen. [6]

Torr · Liter/s, in der Vakuumtechnik gebräuchliches Maß für die Undichtigkeit einer Vakuumapparatur. Der Druckanstieg Δp, der in einem abgesperrten evakuierten Volumen v während der Zeit Δt durch Undichtigkeit eintritt, ist nach dem Gasgesetz propor-

tional der während dieser Zeit eintretenden Gasmenge Δm und damit der Größe des Lecks:

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} \cdot v = \frac{R}{M} \cdot T \frac{\Delta m}{\Delta t} \text{ [Torr · Liter/s]}$$

(R Gaskonstante, M Molmasse des einströmenden Gases, T absolute Temperatur). [20]

Tot-Zeit, diejenige Zeit nach Ansprechen eines Instruments, in der dieses nicht erneut ansprechen kann. Bei einem *Zählrohr z. B. kommt die T. dadurch zustande, daß nach Eintreten eines ionisierenden Teilchens eine Zeit vergeht, bis alle durch das Teilchen und die Folgeprozesse gebildeten Ionen wieder verschwunden sind. Während dieser Zeit kann ein neues Teilchen nicht nachgewiesen werden. Die T. ist je nach Gasart und Druck verschieden und beträgt 10^{-4} bis 10^{-5} s. [6]
engl.: dead time *franz.: temps mort*

toy top, s. table top (Nachtrag).

Träger, chemische Verbindung, die einem unwägbaren Radioelement zugesetzt wird, um mit ihm normale chemische Operationen durchführen zu können. Als T. verwendet man meist ein Isotop des Radioelements oder eine chemisch ähnliche Substanz. Radioaktive Isotope, die so hergestellt sind, daß sie praktisch frei von stabilen Isotopen sind, heißen t r ä g e r - f r e i. [3]
engl.: carrier *franz.: entraîneur*

trägerfrei nennt man ein Präparat, dessen Atome sämtlich radioaktiv sind. Als t.e radioaktive Substanzen bezeichnet man gewöhnlich auch *radioaktive Präparate mit sehr hoher *spezifischer Aktivität. [16]
engl.: carrier free
franz.: sans entraîneur, substance radioactive pure

Transistor, s. Phototransistor.

Translokation, s. Mutation.
engl.: translocation
franz.: translocation

Transport, s. Trennrohr.
engl.: transport
franz.: transport

Transporterscheinungen im Plasma. Unter T. im Plasma versteht man diejenigen Phänomene, die mit

Ausgleichsvorgängen entlang irgend einem Gradienten verbunden sind. Ein Dichtegradient ergibt einen Transport von Masse (Massenstrom), ein Temperaturgradient einen Transport von Energie (Wärmestrom). Ebenso tritt ein Impulsstrom auf (s. G r a d sche Lösung der Boltzmanngleichung, kinetische Gastheorie). Den Transportvorgang hat man so zu verstehen, daß durch die freie Bewegung der Teilchen in einem Gas eine dynamische Eigenschaft derselben von einer Stelle zu einer anderen gebracht wird. Regelmäßig werden solche dynamischen Eigenschaften dann mehr oder weniger durch Stoß einem anderen Teilchen übertragen, welches dann den Transport weiterführt. Demzufolge werden bei der Betrachtung von T. die Methoden der kinetischen Gastheorie im allgemeinen, beim Stoß im besonderen auch die Methoden der Quantentheorie Verwendung finden.
Entsprechend den Verfahren der einfachen oder modellmäßigen sowie denjenigen der strengen Gastheorie unterscheidet man auch eine modellmäßige und eine strenge Theorie der T. Letztere beruht auf den verschiedenen Verfahren zur Lösung der *Maxwell-Boltzmanngleichung oder der *Liouvillegleichung (s. a. hydromagnetische Gleichungen). Nach der G r a d schen Methode werden sogar die expliziten zeitlichen Änderungen der Transportgrößen (Massenstrom, Impulsstrom, Energiestrom) berücksichtigt und somit eine „Relaxation“ dieser Größen betrachtet. In der modellmäßigen Theorie geht man vom Begriff der mittleren freien Weglänge λ aus und betrachtet, unter Annahme einer lokalen Maxwellverteilung der Temperatur T, Teilchendichte n und mittleren Massengeschwindigkeit $\mathfrak{v}_0$ den Transport irgend einer Eigenschaft dieses Teilchens entlang dieser mittleren freien Weglänge. Es entstehen dabei die Begriffe *D i f f u s i o n, *V i s k o s i t ä t und *W ä r m e l e i t f ä h i g k e i t. Im Falle der Diffusion hat man auch die Thermodiffusion (Teilchendiffusion infolge eines Temperaturgradienten) und den Diffusionsthermoeffekt (Entstehung eines Temperaturgradienten infolge Teilchendiffusion) zu berücksichtigen. Neben den anderen T. sind insbesondere diese Diffusionserscheinungen auch mit Hilfe der

Transport-erscheinungen im Plasma

Methoden der Thermodynamik irreversibler Prozesse behandelt worden (M e i x n e r , D e G r o o t u. a.). Im Falle eines *Plasmas ist insbesondere der Energietransport von Interesse und bringt bei teilweise ionisierten Gasen erhebliche Schwierigkeiten in der theoretischen Behandlung mit sich. Man hat hier Energietransport durch Translationsbewegung der verschiedenen Sorten von Teilchen im Plasma, Transport von Anregungsenergie (Rotation und Schwingung bei relativ niederen Temperaturen, Elektronenanregung bei höheren Temperaturen), Verlust von Translationsenergie der Teilchen durch nichtelastische Stöße (Anregung, Dissoziation von Molekülen, Ionisation von Atomen, *Bremsstrahlung), Rückgewinn an Translationsenergie (Stöße 2. Art, bei denen Anregungsenergie in Translationsenergie rückgeführt wird, Rekombination von Atomen zu Molekülen oder von Ionen und Elektronen bei Dreierstößen) sowie Energietransport durch Strahlungsstreuung, Emission und Absorption von Strahlung (s. a. Strahlungsemission eines Plasmas).

Mit Hilfe der E n s k o g schen Methode wurden der Transport innerer Energie behandelt (C. S. W. C h a n g und G. E. U h l e n b e c k) und Ausdrücke für Viskosität und Wärmeleitfähigkeit angegeben sowie der Fall eines reagierenden Neutralgases (I. P r i g o g i n e und S. L a f l e u r) mit Hilfe der G r a d - schen Methode. Eine Methode zur Behandlung von T. in nicht-isothermen reagierenden Plasmen ist durch eine Erweiterung der G r a d schen Methode entwickelt worden (H. J. K a e p p e l e r).

Einen recht guten Überblick über die Verhältnisse und zum Teil auch recht brauchbare Näherungswerte liefert die modellmäßige Theorie, die in Verbindung mit dem Studium der Gasentladungen entwickelt wurde. Diffundieren Teilchen von einer Stelle höheren Energieniveaus zu einer solchen mit niederem Energieniveau, dann ist der Beitrag eines Teilchens zum Energiestrom gleich $-D$ grad E, wobei D der Diffusionskoeffizient und E die lokale Energiedichte ist. N Teilchen ergeben somit einen Energiestrom

$$\mathfrak{W} = -N D \operatorname{grad} E = -N D (\partial E/\partial T) \operatorname{grad} T .$$

Gemäß $\mathfrak{W} = -K \operatorname{grad} T$, wobei K die Wärmeleitfähigkeit und T die absolute Temperatur ist, hat man $K = N\,D(\partial E/\partial T)$. Mit dem Diffusionskoeffizienten $D = \lambda\,\bar{v}/3$ ($\bar{v}$ mittlere thermische Geschwindigkeit) und der mittleren freien Weglänge für Stoß von schweren Teilchen untereinander,

$$\lambda = \frac{1}{4\sqrt{2}\,N\,Q},$$

wobei Q der Stoßquerschnitt ist, erhält man für den Transport e i n e r Art von Energie

$$K = \frac{\alpha}{3 \cdot 4\sqrt{2}} \sum_{i=1}^{m} \frac{n_i\,\bar{v}_i\,c_i}{\sum\limits_{j=1}^{m} n_j\,Q_j^i}$$

α ist der E u c k e n sche Transportkoeffizient (= 2,5 für translatorischen Energietransport, = 1,0 für den Transport innerer Energie), n_i ist die Teilchendichte der i-ten Komponente von insgesamt m Komponenten und c_i ist der Beitrag eines Moleküls zur spezifischen Wärme für diejenige Art der Energie, die transportiert wird. Für den Transport einer „inneren" Energie ε_n (z. B. Anregungsenergie eines bestimmten Niveaus, Rekombinationsenergie) ergibt sich

$$K_n = n\,D_n\,\varepsilon_n(\partial x_n/\partial T) = p\,D_n\,\frac{\varepsilon_n}{k\,T}\,(\partial \ln x_n/\partial T).$$

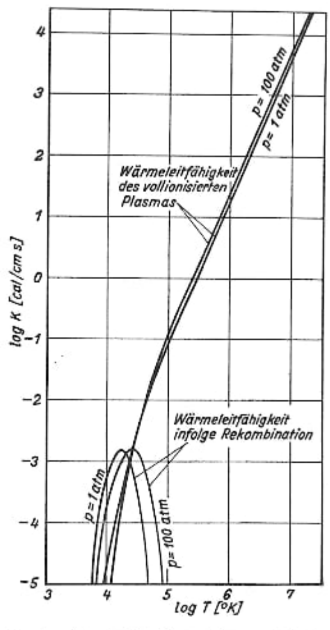
x_n ist die Konzentration ($= n_n/n$, n Gesamtteilchendichte) der Teilchen im Energieniveau ε_n; $p = n\,k\,T$ ist der Gesamtdruck des (idealen) Gases. In den beiden Abbildungen (S. 504/5) sind Beispiele für die verschiedenen Anteile der Wärmeleitfähigkeit angegeben.

Ein Temperaturgefälle ruft nicht nur einen Strom von Wärmeenergie, sondern auch einen solchen von Strahlungsenergie im Plasma hervor. Es sei hier der Fall vollständigen Gleichgewichts zwischen Strahlung und Materie betrachtet, wie er z. B. in sehr dichten Plasmen auftritt. Ist $\mathfrak{W}_{\text{rad}}$ der Strahlungsstrom im thermischen Gleichgewicht, hervorgerufen durch das Temperaturgefälle, so wird $\varrho\,\varkappa\,\mathfrak{W}_{\text{rad}}$ in der Raumeinheit absorbiert und durch den ausgeübten Impuls ist ein Druck-

gefälle $-\operatorname{grad} p_{\mathrm{rad}} = (\varrho\,\varkappa/c)\,\mathfrak{W}_{\mathrm{rad}}$ vorhanden. Daraus folgt für den Energietransport durch Strahlung

$$-\mathfrak{W}_{\mathrm{rad}} = \frac{c}{\varrho\,\varkappa}\operatorname{grad} p_{\mathrm{rad}} = \frac{c}{\varrho\,\varkappa}\operatorname{grad}\frac{a}{3}\,T^4 =$$

$$= \frac{4\,a\,c\,T^3}{3\,\varrho\,\varkappa}\operatorname{grad} T = K_{\mathrm{rad}}\operatorname{grad} T\,.$$



Wärmeleitfähigkeit K eines Wasserstoffplasmas

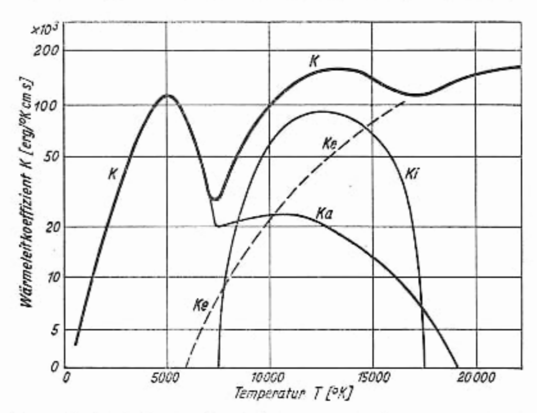
Der Strahlungsstrom kann also durch eine Leitfähigkeit

$$K_{\mathrm{rad}} = \frac{2^5\,\pi^5\,k^4\,T^3}{45\,h^3\,c^2\,\varrho\,\varkappa}$$

beschrieben werden (h Plancksches Wirkungsquantum, c Lichtgeschwindigkeit, ϱ Dichte, $\varkappa$ Absorptionskoeffizient). In einem vollionisierten dichten Plasma, in welchem frei-frei Strahlung vorherrscht, hat man

$$K_{\mathrm{rad}} = \frac{\sqrt{3}\,\pi^8}{450} \cdot \frac{(2\,\pi\,m_e)^{3/2}\,k^{19/2}}{h^5\,e^6\,Z_i^2\,c_e \cdot c_i}\;\frac{T^{17/2}}{p^2}\,,$$

k Boltzmannsche Konstante, m_e Elektronenmasse, p Gasdruck, c_e und c_i Konzentrationen der Elektronen und Ionen, e Elementarladung, Z_i Ionenladungszahl.



Wärmeleitfähigkeit von Luft bei einem Druck von $p = 1$ atm. K gesamte Wärmeleitfähigkeit, K_a Anteil der Atome, K_e Anteil der freien Elektronen, K_i Transport durch Ionenrekombination. Nach H. Maecker, Erg. exakt. Naturwiss. 25, 293, 1951.

Im allgemeinen hat man unter Laboratoriumsbedingungen (insbesondere bei den Versuchen zur Zündung thermonuklearer Reaktionen) sehr geringe Plasmadichten, so daß nur eine schwache Reabsorption der Strahlung vorliegt. Es besteht dann kein Gleichgewicht zwischen Strahlung und Materie und man muß Emission und Absorption getrennt betrachten. Bei sehr heißen vollionisierten Plasmen scheint es erlaubt, die Strahlungsabsorption zu vernachlässigen und die Emission als reinen Verlusteffekt zu betrachten.

Ähnliche Betrachtungen gelten für die aus thermonuklearen Reaktionen entstehende Neutronenkomponente (s. Fusionsreaktionen), die in einem Plasma geringer Dichte sehr große freie Weglängen hat und im wesentlichen einen Energieverlust darstellt. Es sei darauf hingewiesen, daß ein Transportvorgang nicht not-

wendigerweise einen Energieverlust des Systems darstellt, sondern zunächst nur einen Energieausgleich innerhalb des Systems bewirkt.

Wirken äußere Kräfte auf das Plasma ein (z. B. elektrische und magnetische Felder), so können diese eine Änderung der Transportvorgänge bewirken (s. Wärmeleitfähigkeit des Plasmas). [27]

engl.: transport phenomena in a plasma

franz.: phénomènes de transport dans un plasma

Lit.: S. Chapman and T. G. Cowling, Mathematical Theory of Non-uniform Gases, Cambridge Univ. Press, 1952. – J. O. Hirschfelder, C. F. Curtiss and R. B. Bird, Molecular Theory of Gases and Liquids, Wiley, New York, 1954. – S. R. DeGroot, Thermodynamics of Irreversible Processes, North Holland Publ. Co., Amsterdam, 1952. – J. Meixner, Z. Naturforsch. 7 a, 553, 1952. – C. S. W. Chang and G. E. Uhlenbeck, Transport Phenomena in Polyatomic Molecules, Rep. CM-681, Univ. of Michigan, Ann Arbor, 1951. – I. Prigogine and S. Lafleur, Kinetic Theory of Polyatomic Gases, Rep. EOARDC TN-54, Part IV, Freie Universität Brüssel, 1956. – H. J. Kaeppeler, Stochastic Theory of Transport Phenomena in a Reacting Plasma at Extreme Temperatures, Mitt. Forsch. Inst. f. Physik der Strahlantriebe, Nr. 15, Verl. E. v. Olnhausen, Stuttgart, 1958. – W. Finkelnburg u. H. Maecker, Handbuch d. Physik, Bd. XXII: Gasentladungen II, S. 254, Springer, Berlin, 1956. – A. Unsöld, Physik der Sternatmosphären, 2. Aufl., Springer, Berlin, 1955. – F. Hund, Ergebn. d. exakt. Naturwiss. 15, 189, 1936.

Transportfaktor, s. Transportweglänge.

engl.: transport factor

franz.: facteur de transport

Transportgleichung. Die T. kann als Fundamentalgleichung der kinetischen Theorie der Gase und Flüssigkeiten (s. Gastheorie, kinetische, hydromagnetische Gleichungen) angesehen werden. Die T. beschreibt die zeitliche Änderung des Mittelwerts $\langle\alpha\rangle$ einer dynamischen Variablen α im System. Dabei spielt die *Liouville-Gleichung eine wesentliche Rolle. Ist $f^{(N)}$ eine *Wahrscheinlichkeitsdichte im Γ-Raum, der die Koordinaten $\mathfrak{r}_k$, $\mathfrak{p}_k$ $(k = 1, 2, \ldots N)$ hat, wobei $\mathfrak{r}_k$ der Ortsvektor des k-ten Phasenpunkts, $\mathfrak{p}_k$ seine Impulskoordinate ist, dann gilt für den Mittelwert der dynamischen Variablen α,

$$\langle\alpha\rangle = \langle\alpha; f^{(N)}\rangle = \int \underset{6\,N\text{-fach}}{\cdots\cdots} \int d\mathfrak{r}_1 \ldots d\mathfrak{r}_N \, d\mathfrak{p}_1 \ldots d\mathfrak{p}_N \times \\ \times \alpha\, \delta(\mathfrak{r} - \mathfrak{r}_k) f^{(N)}(\mathfrak{r}_1 \ldots \mathfrak{r}_N; \mathfrak{p}_1 \ldots \mathfrak{p}_N; t).$$

Damit ist $\langle\alpha\rangle$ eine Funktion derjenigen Stelle $\mathfrak{r}$, an der die Beiträge aller Phasenpunkte zu $\langle\alpha\rangle$ gemessen wer-

den, und der Zeit t, zu welcher diese Messung durchgeführt wird. $\delta(\mathfrak{r} - \mathfrak{r}_k)$ ist die Diracsche *Deltafunktion. Die zeitliche Änderung von $\langle \alpha \rangle$ ist

$$\frac{\partial}{\partial t} \langle \alpha \rangle = \left\langle \frac{\partial \alpha}{\partial t} \,;\, f^{(N)} \right\rangle + \left\langle \alpha ; \frac{\partial f^{(N)}}{\partial t} \right\rangle .$$

$\partial f^{(N)}$ ist durch die Liouville-Gleichung

$$\frac{\partial f^{(N)}}{\partial t} + [H, f^{(N)}] = 0$$

gegeben, so daß

$$\frac{\partial}{\partial t} \langle \alpha \rangle = \left\langle \frac{\partial \alpha}{\partial t} \,;\, f^{(N)} \right\rangle - \langle \alpha ; [H, f^{(N)}] \rangle$$

wird. Anwendung des G r e e n schen Satzes im Raum der $\mathfrak{r}_k$ und der $\mathfrak{p}_k$ und unter der Voraussetzung, daß $f^{(N)}$ für $\mathfrak{r}_k \to \infty$ sowie für $\mathfrak{p}_k \to \infty$ hinreichend rasch verschwindet, ergibt schließlich

$$\frac{\partial t}{\partial} \langle \alpha \rangle = \left\langle \frac{\partial \alpha}{\partial t} \,;\, f^{(N)} \right\rangle + \langle [H, \alpha] \,;\, f^{(N)} \rangle .$$

Dies ist die T. für $\langle \alpha \rangle$, wenn die Wahrscheinlichkeitsdichte $f^{(N)}$ im Γ-Raum gegeben ist.
Liegt eine Wahrscheinlichkeitsdichte f im μ-Raum vor und ist $\partial f / \partial t$ durch die *Maxwell-Botzmann-Gleichung gegeben, dann hat man zunächst für $\langle \alpha \rangle$

$$\langle \alpha \rangle = \langle \alpha ; f \rangle = \iiint \alpha \, f(\mathfrak{r}, \mathfrak{v}, t) \, \mathrm{d}\mathfrak{v} \, ,$$

wobei $\mathfrak{v}$ die Teilchengeschwindigkeit ist. Die zeitliche Änderung von $\langle \alpha \rangle$ wird

$$\frac{\partial}{\partial t} \langle \alpha \rangle = \left\langle \frac{\partial \alpha}{\partial t} \,;\, f \right\rangle + \left\langle \alpha ; \frac{\partial f}{\partial t} \right\rangle$$

oder nach Einsetzen der Maxwell-Boltzmann-Gleichung

$$\frac{\partial}{\partial t} \langle \alpha ; f \rangle + \frac{\partial}{\partial \mathfrak{r}} \cdot \langle \alpha \, \mathfrak{v} ; f \rangle = \left\langle \frac{\partial \alpha}{\partial t} \,;\, f \right\rangle + \\ + \left\langle \mathfrak{v} \cdot \frac{\partial \alpha}{\partial \mathfrak{r}} \,;\, f \right\rangle + \frac{\mathfrak{F}}{m} \cdot \left\langle \frac{\partial \mathfrak{v}}{\partial \alpha} \,;\, f \right\rangle + \left\langle \alpha ; \left(\frac{\partial f}{\partial t} \right)_c \right\rangle$$

($\partial / \partial \mathfrak{r} \equiv \mathrm{grad}$, $\partial / \partial \mathfrak{v} \equiv \mathrm{grad}_{\mathfrak{v}}$). $\langle \alpha \rangle$ bezeichne ein Geschwindigkeitsmoment n-ter Ordnung $M^{(n)}_{ij\ldots}$ $(\mathfrak{r}, t)$ (s.

G r a d sche Lösung), das aus der Eigengeschwindigkeit $V_i(v_i, r_i, t) = v_i - v_{0i}\,(r_i, t)$ der Teilchen gebildet wird:

$$M^{(n)}_{ij\ldots}(\mathfrak{r}, t) = m \int V_i V_j \ldots f(\mathfrak{r}, \mathfrak{v}, t)\, d\mathfrak{v}\,.$$

v_{0i} ist die mittlere Massengeschwindigkeit

$$v_{0i} = \frac{1}{\varrho} \sum_k m_k \int v_{i\;k} f_k \, d\mathfrak{v}_k)\;.$$

Damit wird die T.

$$\frac{\partial}{\partial t} M^{(n)}_{ij\ldots} + \sum_k \frac{\partial}{\partial r_k}\left(M^{(n+1)}_{kij\ldots} + v_{0k} M^{(n)}_{ij\ldots}\right) =$$

$$= \left\langle m \frac{\partial V_i V_j \ldots}{\partial t}; f \right\rangle + \sum_k \left\langle m\, v_k \frac{\partial V_i V_j \ldots}{\partial r_k}; f \right\rangle$$

$$+ \sum_k F_k \left\langle \frac{\partial V_i V_j \ldots}{\partial v_k}; f \right\rangle + \left\langle m\, V_i V_j \ldots; \left(\frac{\partial f}{\partial t}\right)_c \right\rangle.$$

Setzt man in die jeweilige T. explizite Größen für die dynamische Variable ein, dann erhält man die makroskopischen Erhaltungssätze, wie Kontinuitätsgleichung, Bewegungsgleichung, Energiesatz, etc. (s. Gastheorie, kinetische, hydromagnetische Gleichungen, G r a d - sche Lösung der Maxwell-Boltzmann-Gleichung; T. speziell für Reaktorprobleme s. u. Boltzmann-Gleichung). [27]

engl.: transport equation

franz.: équation de transport

Lit.: S. Chapman and T. G. Cowling, Mathematical Theory of Non-uniform Gases, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1952. – J. O. Hirschfelder, C. F. Curtiss and R. B. Bird, Molecular Theory of Gases and Liquids, Wiley, New York, 1954. – H. J. Kaeppeler, Mitt. Forsch. Inst. Phys. d. Strahlantriebe, Stuttgart, Nr. 8 (1956) und Nr. 15 (1958).

Transportkerne. Falls Streuung und Quelle in einem homogenen Medium isotrop sind, kann man Lösungen der *Integralgleichung der Neutronendiffusion mit Hilfe von T.n in der Form

$$\Phi(\mathfrak{r}) = \int Q(\mathfrak{r}') K^{tr}(\mathfrak{r}, \mathfrak{r})\, dV'$$

erhalten. Die folgende Liste bringt T. für verschiedene Quellgeometrien.

Unter K_0 und I_0 sind modifizierte Besselfunktionen

Geometrie	Bezeichnung	Quellstärke	Transportkern
Punkt	$K_P^{tr}\ (\mathfrak{r}, \mathfrak{r}')$	1 Neutron/s	$\frac{1}{4\pi \|\mathfrak{r} - \mathfrak{r}'\|^2} \exp\left(-\Sigma \|\mathfrak{r} - \mathfrak{r}'\|\right)$
Ebene	$K_e^{r}\ (x, x')$	1 N/cm² s	$\frac{1}{2} E_1(\Sigma \|x - x'\|)$
Gerade	$K_g(r, \varphi, r', \varphi')$	1 N/cm s	$\frac{\Sigma}{2\pi} \int_1^\infty K_0(\Sigma \varrho y)\,\mathrm{d}y$ $\varrho^2 = r^2 + r'^2 - 2\,r\,r' \cos(\varphi' - \varphi)$
Kugelschale	$K_k(r, r')$	1 N pro Schale vom Radius r' und pro s	$\frac{1}{8\pi r r'} \left[E_1(\Sigma \|r - r'\|) - E_1(\Sigma \|r + r'\|)\right]$
Zylinderschale	$K_z(r, r')$	1 N pro Schale vom Radius r' pro cm und pro s	$\frac{\Sigma}{2\pi} \int_1^\infty K_0(\Sigma r y) I_0(\Sigma r' y)\,\mathrm{d}y \ldots r > r'$ $\frac{\Sigma}{2\pi} \int_1^\infty K_0(\Sigma r' y) I_0(\Sigma r y)\,\mathrm{d}y \ldots r > r'$

erster und zweiter Art zu verstehen. Mit $E_1(y)$ wurde das Exponentialintegral

$$E_1(y) = \int_0^1 e^{-y/z} \frac{dz}{z}$$

bezeichnet. [13]
engl.: transport kernels *franz.: noyau de transport*
Lit.: A. M. Weinberg and L. C. Noderer, Theory of Neutron Chain Reactions, AECD-3471, 1951.

Transportquerschnitt = Wirkungsquerschnitt für Streuung multipliziert mit dem *Transportfaktor. [7]
engl.: transport cross section
franz.: section efficace de transport

Transporttheorie, strenge Theorie der (*Neutronen-) Diffusion im streuenden, absorbierenden und multiplizierenden Medium. Die T. berücksichtigt Ort, Zeit, Energie und Flugrichtung der Neutronen. Ist bei einem Problem keine Flugrichtung allzustark vor den anderen ausgezeichnet (Quasi-Isotropie), dann kann man von der Richtungsverteilung absehen und als Näherung die *Diffusionstheorie benützen. Die Grundgleichung der T. ist die *Boltzmann-Gleichung oder Transportgleichung, s. a. Maxwell-Boltzmann-Gleichung. [13]
engl.: transport theory *franz.: théorie du transport*
Lit.: B. Davison, Neutron Transport Theory, Clarendon Press, Oxford, 1957.

Transportweglänge, Transportfaktor. Mit Hilfe des Transportfaktors wird die mittlere freie Weglänge λ_s in die Transportweglänge λ_t umgerechnet. Sie ist ein angenähertes Maß für diejenige Strecke, auf der ein Teilchen (Neutron) seine Bewegungsrichtung im Mittel verliert. Für die Neutronenstreuung an sehr schweren Kernen ist die T. praktisch gleich der allgemeinen freien Weglänge. Am größten ist der Unterschied bei Streuung am Wasserstoff. Es ist

$$\lambda_t = \frac{\lambda_s}{1 - \mu_0}, \text{ wobei } \mu_0 = \frac{2}{3A}$$

(A Massenzahl). μ_0 heißt Transportfaktor. [7]
engl.: transport mean free path
franz.: longueur de transport,
libre parcours de transport

Transurane, die chemischen Elemente mit Ordnungszahlen oberhalb von 92, die also im Periodischen System der Elemente noch jenseits des schwersten natürlichen Elementes, des Urans, stehen. Von den T.n konnten bis jetzt zehn künstlich hergestellt werden, und zwar 1941 *Neptunium (Np, Ordnungszahl $Z = 93$) und *Plutonium (Pu, $Z = 94$), etwas später *Americium (Am, $Z = 95$) und *Curium (Cm, $Z = 96$), 1950 *Berkelium (Bk, $Z = 97$) und *Californium (Cf, $Z = 98$), 1954 *Einsteinium (Es, $Z = 99$) und *Fermium (Fm, $Z = 100$), schließlich 1955 noch *Mendelevium (Md, $Z = 101$) und 1957 *Nobelium (No, $Z = 102$, der Name liegt nicht fest).
Chemisch bilden die T., zusammen mit den vier Elementen vom Aktinium bis zum Uran, eine in sich eng verwandte Gruppe, ähnlich wie eine Stufe tiefer die „seltenen Erden". Diese ganze Gruppe wird als die Gruppe der Aktiniden bezeichnet. Vom Atombau her betrachtet entsteht diese Gruppe, indem (nach etwas komplizierteren Verhältnissen bis zum Americium) durch das jeweils neu hinzutretende Elektron die noch unvollständige O-Schale aufgefüllt wird (ähnlich wie dies bei den seltenen Erden, den Lanthaniden, mit der N-Schale der Fall ist), während die Besetzung der beiden äußersten Schalen, der P- und Q-Schale, unverändert bleibt. [1]

engl.: transuranium elements

franz.: elements transuraniens

Lit.: O. Hahn, Künstliche neue Elemente, Verl. Chemie, Weinheim, 1948. – W. Finkelnburg, Atomphysik, 5./6. Aufl., Springer, Berlin, 1958. – H. Gerlach, Transurane, Akademie-Verl., Berlin, 1955.

Trefferbereich (oder strahlenempfindliches Volumen). In der Treffertheorie versteht man darunter dasjenige Volumen in einem biologischen Objekt, das von einer ionisierenden Korpuskel durchquert werden muß, wenn ein bestimmter zu untersuchender Effekt eintreten soll oder auch ein Beitrag zu diesem Effekt geleistet werden soll. S. a. Treffertheorie. [28]

engl.: radiosensitive volume

franz.: partie active

Treffertheorie. Die T. besitzt ihr wichtigstes Anwendungsgebiet in der Strahlenbiologie und dient zur Auswertung von statistischen Untersuchungen der Strahlenwirkung auf biologische Objekte. Besonders häufig sind Dosiseffektkurven für die Abtötung und Inaktivierung von Mikroorganismen und für die Erzeugung von *Mutationen ermittelt worden. Die Dosiseffektkurve (Prozentsatz der Objekte, welche den zu untersuchenden Effekt zeigen, dargestellt aus der Funktion der Dosis) ist charakterisiert durch Kurvenform und Halbwertsdosis (Dosis bei welcher 50 % der Objekte den Effekt zeigen). Aus der Kurvenform wird unter der Annahme, daß die Objekte keine biologische Variabilität besitzen, die Trefferzahl berechnet, d. h. die Zahl der im Objekt zur Erzielung des Effektes mindesten notwendigen Treffer (s. a. Eintrefferkurve und Mehrtrefferkurve). Aus der Halbwertsdosis ergibt sich die Trefferwahrscheinlichkeit. Die Trefferwahrscheinlichkeit ist bei Anwendung energiereicher Strahlen durch die Wahrscheinlichkeit dafür gegeben, daß eine ionisierende Korpuskel das strahlenempfindliche Volumen durchquert und dabei biologisch wirksam wird. Die Annahme, daß ein Kollektiv von biologischen Objekten gegenüber der Strahlenwirkung keine Variabilität zeigt, und alle Objekte sich völlig gleich verhalten, ist im Wesentlichen nur bei Mikroorganismen und Einzellern und bei der Strahlenwirkung auf Chromosomen erfüllt; es ergeben sich dabei Eintrefferkurven oder Kurven mit geringen Trefferzahlen. Wieweit die strahlenempfindlichen Bereiche mit den biologischen Elementarstrukturen (z. B. Chromosomen bei Bestrahlung von Einzellern) übereinstimmen, ist noch umstritten (s. a. Strahlenwirkung, direkte und indirekte. [28]

engl.: hit theory

franz.: théorie de la cible, théorie des chocs efficaces

Trennaufwand, s. Kaskade.

Trenndüse zur Trennung von Isotopen. Wenn ein isotopes Gasgemisch durch eine Düse ausströmt, ergibt sich unter bestimmten Versuchsbedingungen durch das Zusammenspiel von gewöhnlicher Diffusion, Druckdiffusion und Thermodiffusion eine räumliche Ent-

mischung der verschieden schweren Komponenten: in der Achse des Strahles erfolgt eine Anreicherung der schweren, in den Randzonen eine Anreicherung der leichten Komponenten. Durch Abschälen der Randzone von dem achsennahen Teil des Strahles können Fraktionen mit verschiedener isotopischer Zusammensetzung erzeugt werden. [14]
engl.: separation nozzle
franz.: buse, gicleur de séparation

Trennfaktor der Einzelstufe, s. Trennmethoden.
engl.: separation factor, simple process factor
franz.: facteur d'séparation
f. d'enrichissement unitaire

Trennlänge, s. Trennrohr.
engl.: separation length
franz.: longueur (du tube) de séparation

Trennmethoden für Isotope. Trennmethoden, die zu starken Anreicherungen führen, beruhen auf zwei Prinzipien, die jeweils auf den Einzelprozeß angewandt werden: dem Restprinzip oder dem Vervielfachungsprinzip.

Beim R e s t p r i n z i p wird ein Anfangsvolumen V_0 des Isotopengemisches unter ständiger Wahrung des Gleichgewichtes auf ein Endvolumen V eingeengt. Anfangs- und Endzustand sind durch die R a y l e i g h - sche Formel verbunden:

$$\frac{[L]_0}{[L]}\left(\frac{[S]}{[S]_0}\right)^q = \left(\frac{V_0}{V}\right)^{q-1}.$$

$[L]_0$, $[L]$ Konzentration der leichten Komponente im Anfangs- bzw. Endzustand, $[S]_0$, $[S]$ Konzentration der schweren Komponente im Anfangs- bzw. Endzustand, q Trennfaktor.

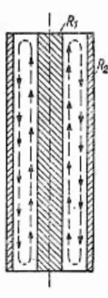
Das Restprinzip wird u. a. angewendet bei der Destillation, der Elektrolyse, der Verdampfungszentrifuge.

Beim V e r v i e l f a c h u n g s p r i n z i p wird der Einzelprozeß durch Hintereinanderschaltung vieler Glieder, in denen sich das Gleichgewicht des Einzelprozesses einstellen kann, oftmals wiederholt. Jedes Glied erhält von seinen Nachbargliedern ein Isotopengemisch und gibt die gleiche Menge an sie ab; die Konzentration der zu- bzw. abgeführten Gemische

unterscheidet sich um den Trennfaktor q des Einzelprozesses. Bei Z hintereinander geschalteten Gliedern ist der Gesamttrennfaktor durch $A = q^Z$ gegeben.
Beide Prinzipien sind auf jeden Einzelprozeß anwendbar. [14]
engl.: methods for isotope separation
franz.: méthodes de séparation des isotopes

Trennpotential, s. Kalkade.
engl.: separation potential
franz.: potential de séparation

Trennrohr, ein 1939 von Clusius und Dickel erfundenes Gerät zur Trennung von Gemischen verschieden schwerer Gase, insbesondere der natürlichen Gemische von gasförmigen *Isotopen oder von gasförmigen Verbindungen von Isotopen.
Die Wirksamkeit des T.s beruht auf der *Thermodiffusion, welche durch einen Kunstgriff wesentlich gesteigert wird. Es besteht aus zwei langen, senkrecht ineinander angeordneten, koaxialen Röhren, wie es schematisch die Abb. zeigt, von denen die innere durch Dampf oder elektrisch geheizt, eventuell auch einfach durch einen elektrisch erhitzten Draht ersetzt wird, während man die äußere kühlt. Der Raum zwischen beiden Röhren ist mit dem Gemisch gefüllt und oben und unten geschlossen. Durch Thermodiffusion reichern sich nun die leichteren Moleküle innen, die schwereren außen an. Außerdem strömt aber, wie die Pfeile in der Abb. angeben, das erwärmte Gasgemisch innen nach oben, während außen das gekühlte heruntersinkt. Durch diese von selbst zustande kommende Strömung verstärkt sich der Trenneffekt um ein Vielfaches, so daß im obersten Teil des Rohres eine starke Anreicherung der leichten, im untersten Teil entsprechend Anreicherung der schweren Moleküle stattfindet. Dort können die angereicherten Gemische abgezapft und einer erneuten Trennung unterworfen werden, bis der gewünschte Reinheitsgrad erreicht ist.



Schema des Trennrohrs

Mittels des T.s lassen sich in vielen Fällen Isotope so

rein abtrennen, daß in dem Endprodukt nur noch wenige Promille der nicht erwünschten anderen Isotope vorhanden sind.

Die Berechnung des T. benutzt Begriffe des „T r a n s p o r t e s“ $\tau = \tau_0[c(1-c) - L(\mathrm{d}y/\mathrm{d}x)]$ (g/s) mit dem „T r a n s p o r t f a k t o r“ $\tau_0 = 0{,}59\,\varrho\, D\,\alpha(\Delta T/T)\,U\,\xi^3$ (g/s), und die „T r e n n l ä n g e“

$$L = \frac{6{,}3\sqrt[3]{\frac{\eta\cdot D}{\varrho\cdot g}\cdot\frac{T}{\Delta T}}}{\alpha\,\frac{\Delta T}{T}}\left(\xi^4 + \frac{2}{\xi^2}\right)\ (\mathrm{cm}).$$

Darin ist der dimensionslose Faktor

$$\xi = \frac{s}{7{,}52\sqrt[3]{\frac{\eta\cdot D}{\varrho\cdot g}\cdot\frac{T}{\Delta T}}},$$

x die Koordinate der Rohrlänge, η die Zähigkeit, D die Diffusionskonstante, ϱ die Dichte, U der mittlere Rohrumfang, g die Erdbeschleunigung, ΔT die Temperaturdifferenz zwischen den Rohren und s die Ringspaltweite. Für den stationären Zustand $\tau = 0$, also ohne Erzeugnisentnahme (vgl. Rektifikation bei $v = \infty$) ergibt sich mit der Rohrlänge X und dem Molenbruch der einen Komponente c_0 am oberen und c_u am unteren Ende für die Anreicherung

$$\frac{c_0(1-c_u)}{c_u(1-c_0)} = \mathrm{e}^{X/L}.$$

Die Trennlänge L ist also diejenige Rohrlänge, bei der eine Entmischung um den Faktor e erfolgt (vgl. theoretischer Boden bei der Rektifikation). Daraus ergibt sich für die größtmögliche Anreicherung $\xi = 1$. Die technische Ausführung erfordert große Rohrlängen (Rohrbatterie von 82 m Gesamtlänge für die Trennanlage zur Gewinnung von $^{18}_{9}\mathrm{O}$ aus natürlichem Sauerstoff; Produktion 200 N cm^3 je Monat!). [1, 2]

engl.: thermal diffusion pipe, separation tube

franz.: colonne de diffusion thermique, ~ de Clusius

Lit.: Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, 3. Aufl., München-Berlin, 1951, Bd. 1: Chemischer Apparatebau und Verfahrenstechnik. – K. Clusius u. G. Dickel, Z. phys. Chem. (B) 44, 397, 1939. – W. Finkelnburg, Atomphysik, 5./6. Aufl., Springer, Berlin, 1958.

Trennsäule, s. Rektifikation, Rektifiziersäule, Füllkörpersäule, Bodenkolonne.
engl.: separation column *franz.: colonne de séparation*

Trennschaukel, s. Thermodiffusion.
engl.: separation swing

Trennung von Isotopen, photochemische, verwendet den Isotopieeffekt in den Linienspektren isotoper Atome bzw. den Rotations- und Schwingungsspektren isotoper Moleküle. Wird in ein Isotopengemisch eine Linie eingestrahlt, die nur von einem bestimmten isotopen Molekül absorbiert wird, und führt diese Absorption zu einem Zerfall des Moleküls, so kann eine Trennung der Isotope erreicht werden, falls Sekundärreaktionen der Dissoziationsprodukte mit den Ausgangsmolekülen, besonders Austauschreaktionen, vermieden werden. [14]
engl.: photochemical separation of isotopes
franz.: séparation photochimique des isotopes

Trennwalze, s. Thermodiffusion.
engl.: separation cylinder
franz.: cylindre de séparation

Triax, s. Nachtrag.

Tributylphosphat, wird abgekürzt zu *TBP.
engl.: tributylphosphate
franz.: tributylphosphate, phosphate de tributyle

TRIGLY, amerikanische Abk. für das Extraktionsmittel Triglycol-dichlorid, es wird ohne Verdünnungsmittel zur Trennung von Uran und Plutonium von den Spaltprodukten aus einer wäßrigen Lösung benutzt; als Salzzuschlag hat sich $Al(NO_3)_2$ bewährt. [22]

Triklin, s. Kristallstruktur.
engl.: triclinic *franz.: triclinique*

Trimmabschaltarm, *Trimmabschaltorgan mit *Absorberarm als Absorberteil. Die T. gestatten u. U. wegen der geringeren Trägheit drehender Bewegungen kürzere Abschaltzeiten als axial verschobene Absorberstäbe oder -rohre. Bei direktem Antrieb an der Drehachse kann außerdem häufig auch der *Vorlauf zum erneuten Ankuppeln nach einem Schnellschluß eingespart werden. Einzelheiten s. u. Trimmen, Abschalten, Start. [9]
engl.: shim safety signal arm *franz.: bras de pilotage*

Trimmabschaltorgane, konstruktive Zusammenfassung des Trimm-Mechanismus mit der Schnellabschaltung, die aus folgenden Gründen empfehlenswert ist: Einsparung an Raumbedarf und Anzahl der Steuerorgane; bessere Abschaltwirkung wegen der steileren *Steuerkennlinie bei Beginn der Abschaltung aus einer etwas eingefahrenen Stellung heraus; Einsparung besonderer *Rückholzeiten für die von den Trimmorganen getrennten Abschaltorgane. Der Hauptnachteil besteht in der größeren Gefahr von mechanischen Störungen bei den meistens recht komplizierten Konstruktionen.
Die wichtigsten Ausführungsformen sind: a) *Trimmabschaltstäbe mit vertikalem Trimmweg (Spindel- oder Zahnstangentrieb, Laufkatzentrieb, Seilzug) und elektromagnetischer Abschaltkupplung (direkter Tragemagnet mit Anker am Absorberteil, indirekte Klinkensperren) oder freilaufendem Trimmantrieb (Zahnstangen mit abgehobenem Ritzel, Seilzüge mit abrollender Trommel, entkuppelte freilaufende Kugellagerspindeln). Nachteilig sind die engen Räume, die für Antriebsmotor und Getriebe, *Stoßdämpfer, Stellungsanzeiger, Tragemagneten und Beschleunigungsfedern zur Verfügung stehen, sowie die sehr langen Vorlaufzeiten zum Laden der *Abschaltkupplung.
b) *Trimmabschaltarme mit Drehkupplungen in der seitlich verlängerten Drehachse (Einsparung der Vorlaufzeit) oder Abschaltkupplungen wie bei (a) in einem Antriebsgestänge senkrecht zur Drehachse (bessere Trennung von der Spaltzone möglich). S. a. Absorberarme.
c) Trimmabschaltsteuerung des Moderatorspiegels mit Feinregelung des Spiegelstandes beim Trimmen (Überlaufrinne mit vertikaler Verstellung oder Gasdrucksteuerung, Zu-Ablaufregelung mit besonderem Regelsystem) und Schnellablaß für den *Schnellschluß (Druckentlastung über der Überlaufrinne, besondere Ablaßventile). Die Forderungen nach genügender Präzision der Spiegelregelung und genügend schnellem Ablaß lassen sich technisch schwer verwirklichen. [9]
engl.: shim safety mechanism
franz.: organes de pilotage

Trimmabschaltstab, kombiniertes Trimmabschalt-

Trimm-abschaltstab organ mit stab- oder röhrenförmigem Absorberteil. Funktionelle Gesichtspunkte s. u. Trimmabschaltorgane, Konstruktion des Stabs s. u. Absorberstäbe.

Die wichtigsten konstruktiven Bestandteile des T. sind:

a) Führung des Absorberstabs in Außenhülse oder mittels Zentralstab aus schwach absorbierendem Material (Al, Mg, Zr);

b) *Stoßdämpfung des abgeschossenen Absorberteils, durch Reibungsfeder (große Bauhöhe) oder hydraulischem Stoßdämpfer entweder am unteren Absorberende (Stauchung des Absorberteils, Stoß auf Unterlage oder Streckung der Führungshülse) oder am oberen Ende des Absorberteils (geringer Querschnitt, Verschmutzungsgefahr);

c) Trimmabschaltantrieb mit Abschaltkupplung: grundsätzlich sind getrennte Antriebe und *Abschaltkupplungen und Antriebe mit umschaltbarer Geschwindigkeit zu unterscheiden. Zu den letzteren gehören Schwimmeranordnungen und pneumatische oder hydraulische Kolbentriebe mit umschaltbarer Füll- und Entladegeschwindigkeit sowie leerlaufende Spindeln oder Seiltrommeln (alle Ausführungen sind relativ langsam, schwierig in der Einstellung und bei der Stellungsübertragung und haben erhöhte Klemmgefahren). Bei den getrennten Antrieben sind als Abschaltkupplungen üblich: elektrische Tragemagnete für direkt angehängte Absorberteile mit einem Magnetanker, Sperrklinken mit am gleichen Ort befindlichen Auslösemagneten, Sperrklinkenmechanismen mit von außen bedientem Auslösegestänge. Als Trimmantriebe werden verwandt: Spindel-Mutter (großer Querschnittsbedarf bei Hohlspindeln, Lagerungsprobleme bei Vollspindeln, Hubhöhe bei drehenden Muttern), Zahnstange-Ritzel (großer Querschnittsbedarf, nicht selbsthemmend, hohe Zahnbelastungen, große Bauhöhe), Laufkatzen mit eingebautem Antrieb und feststehender Zahnstange im Führungsrohr (enge Konstruktion, schwierige Stromzuführung und Stellungsmeldung), Seilzug-Trommel (geringe Genauigkeit, Übersetzungsänderung, schwierige Stromzuführung zur Abschaltkupplung oder langsames Abrollen von der Trommel, Sicherheitsverminderung wegen Wegfall von aktiven Einfahrkräften). Als

zusätzliche Abschaltbeschleuniger dienen außer der Schwerkraft: gespannte Druckfedern zwischen Absorberteil und Trimm-Mechanismus, Druckluftstöße auf lose Kolben, Schnellankupplungen an ständig rotierende träge Massen;

d) die Antriebsaggregate. Sie umfassen Gleichstrommotoren (wartungsbedürftig, spannungsabhängige Drehzahl) oder Wechselstrominduktionsmotor (größer, mehr Zuleitungen, feste Drehzahl), das Getriebe, z. B. Stirnradgetriebe (voluminös, nicht selbsthemmend), Planetengetriebe (raumsparend) oder Schneckengetriebe (selbsthemmend, aber voluminös), die Stellungsübertragung: Drehmelder (induktiv, ohmsch) oder Endschalter (bei fester Trimmverbindung am Getriebe, bei abrollendem Seilzug an der Seiltrommel);

e) Sicherheitssignalgeber für die Meldung der Abschaltbereitschaft. Sie bestehen aus Induktivitätsmessung am Tragemagneten, Endschalter an der Abschaltkupplung selbst, Druckkontakte an den Beschleunigungsfedern. Zur Meldung der Abschaltvollendung dienen Endkontakte am oberen Absorberteil oder Registrierung der Druckerhöhung in den Stoßdämpfern. [9]

engl.: shim safety rod

franz.: barre de pilotage, barre de sécurité

Lit.: s. Sicherheitssystem, ferner: Proc. of The Institute of Electrical Engineers 103 B, 597 (1956).

Trimmen, *Reaktivitätssteuerung zum langsamen kontinuierlichen oder schrittweisen Ausgleich größerer Reaktivitätsänderungen beim Starten, Abschalten und laufenden Betrieb von Reaktoren.

Der T r i m m h u b richtet sich nach der maximalen Reaktivitätsänderung im Normalbetrieb und muß deshalb im allgemeinen die Summe der Reaktivitätsveränderungen durch Temperatur, Vergiftung, Abbrand, Regelhub, ferner evtl. Druck, Verdampfung, experimentelle Beladungen übersteigen. Bei kombinierten Trimmabschaltorganen kommt außerdem noch der minimale Abschalthub hinzu. Die *T r i m m - g e s c h w i n d i g k e i t wird von folgenden Gesichtspunkten bestimmt: Sie muß so langsam sein, daß

a) die Leistungsregelung jederzeit die Trimmbewegung ausregeln kann,

b) keine *Startzwischenfälle mit zu kurzen Perioden beim Durchgang durch die *Maximalleistung auftreten können.

Sie muß so schnell sein, daß auch

c) die schnellsten sekundären Reaktivitätsänderungen im Reaktor, bewirkt durch Vergiftungs-, Temperatur- und Druckänderungen jederzeit ausgeglichen werden können, und

d) alle betriebsbedingten Umladevorgänge in der Spaltzone (z. B. Isotopenumladungen mit begrenzter Mindestgeschwindigkeit aus Kühlungsgründen) bei laufendem Reaktivitätsausgleich durch die *Trimmnachfolgesteuerung ausgeführt werden können, und endlich

e) die Startzeiten erträglich kurz bleiben.

Die Erfüllung aller dieser Forderungen ist oft nur als Kompromiß und unter Zuhilfenahme zusätzlicher Sicherheitsvorkehrungen, z. B. *Periodenüberwachung zur Unterstützung von b), möglich. Die üblichen Trimmgeschwindigkeiten ϱ liegen zwischen 10^{-4} und $10^{-5}\,s^{-1}$, woraus mit den üblichen Reaktivitätshüben $\Delta\varrho$ zwischen $2 \cdot 10^{-2}$ und $1 \cdot 10^{-1}$ Schnellschlußrückhol- und Startzeiten zwischen einigen Minuten und einigen Stunden, durchschnittlich etwa eine halbe Stunde, resultieren. [9]

engl.: shimming

franz.: ajustement par shimme, ajustement de réactivité

Lit.: M. A. Schultz, Control of Nuclear Reactors and Power Plants, McGraw-Hill, New York, 1955. – S. Glasstone, Principles of Nuclear Reactor Engineering, van Nostrand, New York, 1955. – R. Stephenson, Introduction to Nuclear Reactor Engineering, McGraw-Hill, New York, 1954.

Trimmgeschwindigkeit, eingeprägte Reaktivitätsänderung je Zeiteinheit während der Trimmsteuerung. Wegen der gekrümmten *Steuerkennlinien entspricht eine konstante Bewegung der Trimmstäbe im allgemeinen keineswegs reaktivitätsseitig konstanten T. In der Praxis muß man bei konstanter mechanischer Geschwindigkeit der Stäbe mit Unterschieden der T. zwischen den Randstellungen und der Mittellage im Reaktor bis zu einem Faktor 10 rechnen. Zahlwerte s. u. Trimmen, Startverlauf. [9]

engl.: shim velocity

franz.: vitesse de réglage de la réactivité

Trimmhub, maximale Reaktivitätsänderung, die mit den zum *Trimmen vorgesehenen *Steuerorganen erzielt werden kann. Die Größe des T. muß so bemessen werden, daß alle im laufenden Betrieb auftretenden stationären Reaktivitätsänderungen (durch Temperatureffekte, Druckänderungen, Vergiftungen, Abbrand, Regelung) ausgeglichen werden können. Der T. sollte jedoch bei heterogener Trimmung (Absorberstäbe) mit Rücksicht auf Leistungsverluste und ungleichmäßige Belastungen des Brennstoffs auch nicht sehr viel größer sein als dieser notwendige Hub. Eventuelle nichtstationäre Reaktivitätsänderungen (z. B. übernormale Vergiftung), die einen noch größeren T. erfordern, müssen deshalb entweder in Kauf genommen werden oder mit homogenen Trimmungen (z. B. Abkühlung des Moderators) ausgesteuert werden. Die genaue Größe des T. hängt wegen der Vielzahl der auszugleichenden Effekte stark vom speziellen Reaktortyp ab. [9]

engl.: shim range

franz.: plage de réglage de la réactivité

Lit.: Reaktorbeschreibungen in Peaceful Uses of Atomic Energy, Bd. 2 u. 3, United Nations, Genf, 1955.

Trimmnachfolgesteuerung, automatische Steuerung des Trimm-Mechanismus durch das Regelorgan zum Ausgleich größerer Reaktivitätsschwankungen, die letzteres allein nicht aussteuern kann.

Bei der üblichen Ausführung wird eine gleichsinnige Trimmung ausgelöst, sobald die Regelbewegung einen Schalter auf etwa halber Regelhubhöhe (von der Mitte aus) passiert. Dadurch wird unter ständigem Ausgleich durch die *Regelung solange Reaktivität des fehlenden Vorzeichens dem Reaktor eingeprägt, bis das Regelorgan die Mittellage in entgegengesetzter Richtung passiert und dort einen zweiten Schalter betätigt, der die Trimmbewegung wieder beendet. Auf diese Weise können auch größere Reaktivitätsänderungen durch das Regelsystem automatisch ausgeglichen werden, sofern sie langsamer sind als die maximale *Trimmgeschwindigkeit. Zur ständigen Aufrechterhaltung der Regelung muß die Regelbewegung etwa 3- . . . 5mal schneller als die Trimmung sein. Wegen der aus Genauigkeits-

gründen auf maximal $2 \ldots 5 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{s}^{-1}$ begrenzten Regelgeschwindigkeit ergibt sich eine maximale Trimmgeschwindigkeit von etwa $\dot{\varrho} = 10^{-4}\,\mathrm{s}^{-1}$. Man beachte, daß etwa derselbe Grenzwert auch aus der Diskussion der *Startzwischenfälle abgeleitet wird. Der Auslösehub für die T. wird meistens nur etwa halb so groß wie der maximale Regelhub gewählt, damit auch nach dem Einsetzen der Trimmung kleine aber schnelle Reaktivitätsänderungen in der die T. auslösenden Richtung noch ausgeregelt werden können (z. B. bei Brennstoff- oder *Isotopenumladungen bei laufendem Reaktor). [9]
engl.: automatic shim rod follow-up
franz.: pilotage automatique
Lit.: M. A. Schultz, Control of Nuclear Reactors and Power Plants, McGraw-Hill, New York, 1955.

Trimmorgane, *Steuerorgane zur kontinuierlichen oder schrittweisen *Grobsteuerung der Reaktivität eines Reaktors. Die daraus folgenden Bedingungen hinsichtlich Geschwindigkeit und Hub sind unter Trimmen und Startunfall behandelt. Die T. werden häufig mit den Abschaltorganen zu sogenannten Trimmabschaltorganen zusammengefaßt, weil dadurch bessere Abschaltwirkungen erzielt werden (s. Abschalten) und die Abschaltorgane ohnehin eine Rückholeinrichtung haben müssen, an die ähnliche Forderungen zu stellen sind wie an den Trimm-Mechanismus. [9]
engl.: shim mechanism
franz.: organes de réduction de réactivité

Trimmstab, Stab aus stark neutronenabsorbierender Materie, der in den Reaktor zwecks *Trimmen eingeführt wird. S. Trimmorgane, Trimmabschaltstab. [7]
engl.: shim rod,
franz.: barre de réglage grossier

Trimmung, s. Trimmen.

Tritium, „überschwerer Wasserstoff", künstlich radioaktives Isotop des Wasserstoffs mit der Massenzahl 3, Halbwertszeit 12,26 a, Zerfall unter Aussendung sehr weicher β-Strahlen von 18 keV.
Das T. entsteht z. B. durch die Kernumwandlung

$$^{2}_{1}\mathrm{H}\,(\mathrm{d,p})\;^{3}_{1}\mathrm{H}\,,$$

besonders wirksam ist die Beschießung von Lithium

mit schnellen Neutronen vom Reaktor nach dem Kernprozeß $^{6}_{3}\mathrm{Li}(n, \alpha)\,^{3}_{1}\mathrm{H}$.

Dank der leichten Erzeugungsmöglichkeit und der relativ langen Lebensdauer konnten die Eigenschaften nicht nur des T.-Atoms im festen, flüssigen und gasförmigen Zustand, sondern auch die des T.-Kernes, des *Tritons, mit größerer Genauigkeit bestimmt werden, als dies sonst bei künstlich radioaktiven Kernen möglich ist. Zudem wird T. jetzt im großen erzeugt, da es für Fusionsprozesse interessant ist.

In der Isotopentechnik dient T. häufig zur *Markierung von Wasserstoffverbindungen, wie Wasser, Kohlewasserstoffen, als Ionisierungsmittel von Gasen, z. B. in Kaltkathodenröhren und *Atombatterien und als Auffänger zur Neutronengewinnung in Beschleunigungsanlagen. Als radioaktives Isotop fällt T. in mehrfacher Hinsicht aus der Reihe.

Seine Vorteile sind:

a) Es emittiert nur Betastrahlung, jedoch keine Gammastrahlung.

b) Die Halbwertszeit beträgt 12,26 Jahre.

c) Die Betastrahlung ist extrem weich (18 keV, ca. 1 cm Reichweite in Luft). Sie durchdringt bereits dünnwandige Behälter nicht mehr.

d) Wegen der geringen Reichweite wird die gesamte Strahlungsenergie zur Ionisierung ausgenutzt.

e) Es gehört zu den am wenigsten gefährlichen radioaktiven Stoffen, da die Strahlung die Haut nicht zu durchdringen vermag und der Wasserstoffdurchsatz des menschlichen Körpers sehr hoch ist.

f) Es besitzt eine relativ geringe Schwellenenergie gegenüber Deuteronen und Protonen.

Seine Nachteile sind:

a) Meßtechnisch ist T. eines der schwierigsten radioaktiven Isotope.

b) Die *Isotopieeffekte sind bei T. wegen des hohen Massenverhältnisses zum natürlich vorkommenden $^{1}\mathrm{H}$ am größten. [1, 16]

engl.: tritium *franz.: tritium*

Lit.: W. L. Laurence, Wasserstoffbomben, Metzner, Frankfurt/M., 1951. – W. G. Brown u. a., Peaceful Uses of Atomic Energy. Bd. 15, S. 16, Genf, 1955. – S. Jefferson, Electr. Rev. 157, 1109 (1955).

Tritiumauffänger, Bestrahlungssubstanz mit an Titan oder Zirkonium gebundenem Tritium. T.s werden als ergiebige Neutronenquellen bei Beschleunigungsanlagen im 100 keV-Bereich benötigt, da die Neutronen erzeugenden Reaktionen ^{3}H (p, n) und ^{3}H (d, n) eine niedere Schwellenenergie besitzen. [16]
engl.: tritium target
franz.: cible de tritium

Tritiumquelle, 1. Quelle für Tritiumgas, 2. Strahlquelle der vom Tritium emittierten sehr weichen Betastrahlung.
Die Gasquelle nutzt die Tatsache, daß pyrophores Uran in der Kälte Tritium bindet und in der Wärme abgibt. Die Quelle besteht aus einem Behälter mit pyrophorem Uran, das in einem Öfchen erwärmt werden kann.
In der festen Strahlungsquelle ist Tritiumgas an dünne, im Vakuum aufgedampfte Titan- oder Zirkoniumschichten gebunden. [16]
engl.: tritium source
franz.: source de tritium

Triton, Atomkern des *Tritiums. Er besteht aus einem Proton und zwei Neutronen und ist schwach β-instabil. Die wichtigsten Eigenschaften des T.s sind: Ladung eine Elementarladung, Ruhmasse 3,01648 Masseneinheiten, Kernspin $^1/_2$, magnetisches Moment 2,9788 Kernmagnetonen. Das T. wird auch als Geschoß für Kernumwandlungen verwendet. Entstehung und radioaktive Eigenschaften s. Tritium. [1]
engl.: triton
franz.: triton

Trombay, indisches Atomforschungs- und Entwicklungsinstitut des staatlichen Atomic Energy Departments bei Bombay. Standort des ersten indischen Forschungsreaktors „Apsaras“ sowie der geplanten Forschungs- und Versuchsreaktoren (CIR, ZERLINA) und einer Uran- und Thorium-Aufbereitungsanlage. [24]

Tröpfchen-Fallmethode, s. Dichtebestimmung.
engl.: falling drop method
franz.: méthode des gouttes calibrées

Tröpfchenmodell, eine modellmäßige, anschauliche

Vorstellung vom Aufbau der zusammengesetzten Kerne aus Protonen und Neutronen. Näheres s. Kernbau. [1]
engl.: liquid drop model
franz.: modèle de goutte du noyau

Tscherenkow-Zähler, s. Çerenkow-Zähler.

TTA. Gebräuchliche Abkürzung für Thenoyl-trifluoroaceton.

$$\text{(Thiophen-Ring, S)}-CO-CH_2-CO-CF_3$$

Die Verbindung findet eine Anwendung als Komplexbildner bei der Trennung einer Reihe von Elementen durch Extraktion. Es wird z. B. nach Verdünnung durch Benzol zur Trennung von Plutonium von den Spaltprodukten aus einer wäßrigen Lösung benutzt, ein Salzzuschlag ist hierbei nicht notwendig. S. a. Chelation-TTA-Prozeß. [3, 22]
Lit.: Progress in Nuclear Energy, Series III, Vol. 1, Pergamon-Press, London–New York, 1956.

Tunnel, wassergefüllter Raum, meist im Tiefkeller, der zur Aufnahme bestrahlter und hochaktiver Brennstoffelemente dient, um die Radioaktivität der Spaltprodukte abklingen zu lassen. Danach werden die Brennstoffelemente zur weiteren Bearbeitung (Aufarbeitung des Kernbrennstoffs) an die jeweiligen Fabriken gesandt. Die Wassermengen müssen so bemessen sein, daß ausreichende Kühlung und Abschirmung gewährleistet ist. [7]
engl.: canyon
franz.: soute de décontamination

Tunneleffekt. Wenn ein Teilchen mit einer bestimmten kinetischen Anfangsenergie E gegen ein Potential $V(r)$ anläuft, so wird E allmählich aufgezehrt. Das Teilchen wird nach den Gesetzen der klassischen Physik dieses Potential überwinden, wenn $E - V$ für jeden Ort, an den das Teilchen gelangt, größer als Null ist; würde dagegen $E - V < 0$, so wird das Teilchen reflektiert. Nach der Quantenmechanik ist diese Aussage einzuschränken. Es tritt die Reflexion als grundsätzliches und ausschließliches Verhalten nur dann ein, wenn V in Funktion des Ortes ansteigt u n d nachher

nicht wieder unter dem Wert der anfänglichen kinetischen Energie des Geschosses absinkt, also etwa den Verlauf der Abb. 1 hat. Fällt dagegen V für $r > R$

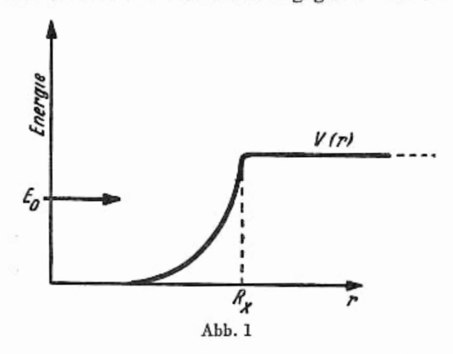


Abb. 1

wieder ab, haben wir es also mit einer Potentialschwelle oder einem *Potentialberg zu tun (Abb. 2),

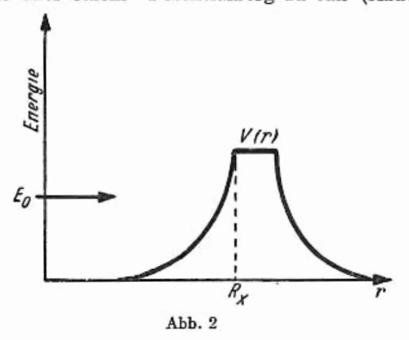


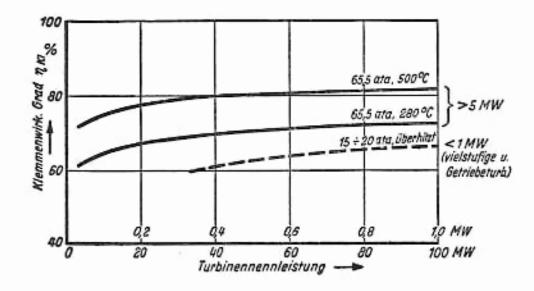
Abb. 2

so kann das Teilchen mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit, die von der Dicke des Potentialberges und der Höhe $(V - E_0)$ abhängt (Gamow-Faktor), hindurchgelangen. Es bahnt sich also einen Tunnel, und zwar um so leichter, je weniger stark der Berg ist, und befindet sich dann auf der anderen Seite des Berges.
Die Erscheinung ist nicht für die Quantenmechanik eigentümlich, sondern allgemein eine Erscheinung bei Wellen. So dringen auch die elektromagnetischen Wellen des Lichts mit exponentiell abklingender Ampli-

tude in ein total reflektierendes Medium – entsprechend einem hohen Potentialberg – ein. Macht man dieses genügend dünn, so ist eine Lichtintensität hinter dem Medium nachweisbar. Die Quantenmechanik kennt nun dieses Phänomen auch für die Gebilde, die man im üblichen Sprachgebrauch als Teilchen bezeichnet. Da aber jedes Elementargebilde sowohl als Teilchen wie als Welle in Erscheinung treten kann, muß auch diese Welleneigenschaft an den sog. Teilchen auftreten. – Auf dem T. beruht die Radioaktivität der Atomkerne, insbesondere der *Alpha-Zerfall und die spontane Kernspaltung. Das Verhältnis der Intensitäten der durchgelassenen Welle zu der der einfallenden Welle bezeichnet man als Durchlaßkoeffizienten D. Entsprechend bedeutet $1 - D$ den Reflexionskoeffizienten. [7]
engl.: tunnel effect
franz.: effet (de) tunnel

Turbogenerator, Maschinenaggregat bestehend aus Turbine und Stromerzeuger *(generator)*. Kernkraftwerke sind bis jetzt nur für Dampfturbinenantrieb gebaut worden, Gasturbinenreaktoren sind jedoch geplant (Escher-Wyss, BBC). Als Dampfturbinen werden a) Sattdampfturbinen und b) Turbinen für überhitzten Dampf eingesetzt.

a) Bei wassermoderierten und wassergekühlten Reaktoren kann das Wasser eine Temperatur von 250° bis 300 °C nicht überschreiten, da die benötigten Drucke aus wirtschaftlichen und technischen Gründen nicht beliebig groß werden dürfen. Das bedeutet, daß das im



Turbogenerator Wärmetauscher oder Siedewasserreaktor gewonnene, die Turbine antreibende Arbeitsmittel keine höheren Temperaturen erreichen wird und im allgemeinen als Sattdampf anfällt. In der Abb. sind für einen Dampfzustand von 65,5 ata und 280 °C die Klemmenwirkungsgrade η_{Kl} von Sattdampfturbinen über der Nennleistung eingezeichnet ($\eta_{Kl} = \eta_i \cdot \eta_{mech} \cdot \eta_{el}$, wo η_i der innere Wirkungsgrad, η_{mech} der mechanische Wirkungsgrad der Turbine und η_{el} der Wirkungsgrad des Generators bedeuten). Dabei wurde angenommen, daß die Turbinen je nach Nennleistung mit 1 bis 3 Wasserabscheidern und 2 bis 5 Vorwärmstufen ausgerüstet sind. Bei Sattdampfturbinen ist es notwendig, das während der Entspannung kondensierende Wasser abzuführen. Dies kann durch Zwischenerhitzung des Dampfes oder durch Abscheiden des Wassers in Fliehkraftabscheidern geschehen. Nach amerikanischen Untersuchungen (N. A. Beldecos und A. K. Smith, ASME-Paper N 54-SA-65) sind Erhitzer nur dann wirtschaftlicher, wenn die Überhitzung mindestens 60 °C beträgt.

b) Turbinen für überhitzten Dampf werden in Anlagen eingesetzt, bei denen der im Reaktor bzw. Wärmetauscher erzeugte Sattdampf fremd überhitzt wird oder wo man, wie bei gasgekühlten Reaktoren bei niedrigem Dampfdruck eine gewisse Überhitzung erreicht (Calder Hall). Wenn bei gasgekühlten Reaktoren kein metallisches Uran verwendet wird, ist es möglich, Gastemperaturen bis zu 800 °C zu erhalten und damit dann überhitzten Dampf von 450° bis 500 °C zu erzeugen. In der Abb. sind die Klemmenwirkungsgrade solcher Turbinen über der Nennleistung für 65,5 ata und 500 °C dargestellt. Für Turbinen mit Nennleistungen < 1 MW sei ein Dampfzustand von 17 ata und 308 °C bei 3000 U/min herausgegriffen. Die Wirkungsgrade solch kleiner Turbinen fallen sehr schnell ab, wobei im allgemeinen unterhalb von 500 kW die Kolbendampfmaschinen bzw. Dampfmotoren günstiger abschneiden (s. BWK 1954, S. 465–69). Bei Reaktoren mit Gaskühlung ist es sinnvoll, die Gasturbine anzuwenden. Um die Turbine bei günstigem Wirkungsgrad betreiben zu können, muß die Gaseintrittstemperatur min-

destens 600 °C betragen. Die Grenze der Wirtschaftlichkeit von Gasturbinen liegt derzeit in Deutschland bei etwa 15 MW; bei größeren elektrischen Leistungen muß also der Wasserdampfprozeß angewendet werden. Ortsfeste Anlagen arbeiten vornehmlich im geschlossenen *Kreislauf. Als Arbeitsgase werden He, CO_2 und N_2 bei Drücken bis zu 80 ata vorgeschlagen. [7, 8]
engl.: turbogenerator
franz.: turbogénérateur

U

Übergang, in der Atom- und Kernphysik der Wechsel eines Systems (Atom, Kern) von einem stationären Energieniveau auf ein anderes. Die Energiedifferenz der beiden Niveaus wird bei dem Vorgang frei oder wird absorbiert, je nachdem der Ü. vom höheren zum tieferen Niveau erfolgt oder umgekehrt. In vielen Fällen wird diese Energiedifferenz zur Bildung oder Absorption eines Strahlungsquants $h\nu$ verwendet; es gibt jedoch auch strahlungslose Ü.e, s. u. Im *Termschema werden die möglichen Ü.e durch Pfeile angedeutet. [1]
engl.: transition
franz.: passage, transformation

Übergang, innerer, s. Umwandlung, innere.

Übergang, strahlungsloser. Der Energieüberschuß eines atomaren Systems in einem angeregten Zustand (s. Anregung) wird beim Zurückgehen in den Grundzustand meist in Form eines Strahlungsquants (oder beim stufenweisen Zurückgehen in Form mehrerer Strahlungsquanten) ausgesandt. Es gibt jedoch auch strahlungslose Ü.e, bei welchen der Energieüberschuß in anderer Weise verwandt wird, z. B. zur Erhöhung der kinetischen Energie eines stoßenden Elektrons (Stoß zweiter Art) oder zur Ausschleuderung eines Elektrons des eigenen Systems bei der Autoionisation bzw. zur Dissoziation des Moleküls bei der Prädissoziation. [1]
engl.: radiationless transition
franz.: transformation sans rayonnement

Übergangsfunktion, zeitlicher Verlauf der Ausgangsgröße eines Übertragers nach sprungweiser Änderung der Eingangsgröße. Die Ü. gibt ein besonders anschauliches Bild von den Verzögerungen und evtl. Einschwingvorgängen in einem Übertrager. Zu einer genauen Analyse des Stabilitätsverhaltens größerer Regelkreise oder -netzwerke ist sie dagegen wesentlich weniger geeignet als die genaueren Beschreibungen durch Frequenzgänge und Differentialgleichungen. Ein typisches Beispiel ist der exponentielle Übergangsverlauf mit einer festen *Verzögerungszeitkonstante. [9]
engl.: transition function
franz.: fonction de transition
Lit.: s. Regelung.

Übergangswahrscheinlichkeit, die Wahrscheinlichkeit w_{ae} für den spontanen Übergang eines Moleküls, Atoms oder Atomkerns aus einem angeregten Zustand in einen energetisch tieferen Zustand e innerhalb der Zeiteinheit [s]. Die Größe $w_a = \sum_e w_{ae}$ heißt die totale Übergangswahrscheinlichkeit aus dem Zustand a in irgendeinen Endzustand e. Die Wahrscheinlichkeit, das System nach der Zeit t im Zustand a anzutreffen, ist $e^{-w_a t}$. Bei radioaktiven Zerfällen nennt man die (totale) Ü. *Zerfallkonstante. Die Ü. ist die reziproke mittlere Lebensdauer des angeregten Zustandes und bestimmt (zusammen mit der Besetzungsdichte des angeregten Zustandes) die Intensität der ausgesandten Spektrallinie. [1, 7]
engl.: transition probability
franz.: probabilité de transition

Überhitzer. Die Verwendung von überhitztem Dampf an Stelle von Sattdampf bietet bei einem Dampfturbinenkreislauf gewisse Vorteile. Erstens wird der ideale thermische *Wirkungsgrad etwas verbessert und zweitens werden die Verluste in der Turbine verringert. Bei Verwendung von gesättigtem Dampf ist der Wärmeübergang durch die Turbinenwände infolge eines Kondensatfilmes erheblich größer als bei Verwendung von Heißdampf. Dadurch ergibt sich eine stärkere Abweichung von der idealen adiabatischen Ex-

pansion. In fast allen mit Kohle beheizten Dampfkraftwerken wird der vom Dampfkessel kommende Sattdampf in einem Ü. auf 400 bis 600 °C überhitzt. Mit den bisher gebauten *Leistungsreaktoren lassen sich bis jetzt wegen der Temperaturbeschränkungen solche Dampfzustände noch nicht erreichen. Es wurde daher schon in Erwägung gezogen, neben einem Reaktor noch einen mit Kohle oder Öl beheizten Ü. zu verwenden. [5]

engl.: superheater *franz.: surchauffeur*

Lit.: E. Schmidt, Einführung in die technische Thermodynamik, 6. Aufl., Springer, Berlin, 1956.

überkritisch, s. kritisch.

engl.: super critical *franz.: surcritique*

Überlebenskurve, s. Dosiswirkungskurve.

engl.: survival curve *franz.: courbe de survie*

Überschlag bei Regelung und Steuerung, vorübergehende Überschreitung des stationären Endwerts an Stelle der angestrebten asymptotischen Annäherung. Die relative Größe und Dauer stellt ein wesentliches Kriterium für die Beurteilung von Übertragungseigenschaften mittels der Übergangsfunktion dar. Dabei ist zwischen einmaligem Ü. und gedämpften Schwingungen um den Sollwert herum streng zu unterscheiden. Bei linearen Regelungen können Ü.e ohne anschließende Schwingungen im allgemeinen nicht auftreten. Bei der Reaktorregelung muß jedoch wegen der nichtlinearen Differentialgleichungen bei großen Sollwertverstellungen, insbesondere bei Sollwertverminderungen, oft auch mit einfachem Ü. gerechnet werden. [9]

engl.: overshoot *franz.: dépassement, excès*

Überschußkondensator. Die Wärmeleistung des Reaktors eines Kernkraftwerkes kann aus Sicherheits- und technologischen Gründen (Wärmespannungen) nicht beliebig schnell dem elektrischen Leistungsbedarf angepaßt werden. Deshalb sind meist Ü. vorgesehen, welche im Notfall den gesamten erzeugten Dampf kondensieren können. Die Leistung der Turbogeneratoren kann dann mit Hilfe von Umgehungsleitungen im Bedarfsfall schnell geregelt werden. [8]

engl.: dump condenser

franz.: condenseur-tampon, c. de sécurité

Überschuß-Reaktivität

Überschuß-Reaktivität. Dieser wichtige Begriff wird in der Reaktortheorie in verschiedener Bedeutung verwendet. Zunächst kann damit die Reaktivität ϱ eines nichtkritischen Reaktors gemeint sein, dessen Leistungsniveau mit der Zeit anwächst. In diesem Fall ist die Ü.-R. durch

$$\varrho = k_{\text{ex}}/k \text{ mit } k_{\text{ex}} = k - 1$$

gegeben, hängt also mit dem Überschuß-(Exzeß-)Multiplikationsfaktor k_{ex} zusammen.

Die zweite Bedeutung bezieht sich auf die Inbetriebsetzung und Benützung eines frisch gefüllten (jungfräulichen) Reaktors. Wenn man diesen Reaktor für die eingesetzten Stoffe und für z. B. Zimmertemperatur berechnet, so könnte er nur kurze Zeit stationär, also mit $\varrho = 0$, laufen und würde dann absterben. Der Grund dafür liegt darin, daß beim Übergang zu höheren Temperaturen der negative Temperaturkoeffizient, den der Reaktor aus Stabilitätsgründen haben muß, einen Übergang zu negativen Reaktivitäten bedingt. In der gleichen Richtung wirken auch die Neutronengifte Xe^{135} und Sm^{149}, die anfänglich nicht vorhanden waren und nach einiger Zeit ihre Gleichgewichtskonzentration erreichen. Schließlich muß auch für die Regeleinrichtung ein gewisser Spielraum vorgesehen sein. Ein so knapp ausgelegter Reaktor würde auch als Forschungsreaktor untauglich sein, da er bei Einführung von Proben sofort absterben würde. Aus den erwähnten Gründen ist es erforderlich, in den Reaktor mehr Brennstoffelemente einzubringen, bzw. die Konzentration des Spaltstoffs oder seiner Anreicherung zu erhöhen. Der so ausgelegte Reaktor würde beim Ingangsetzen vom frischen und kalten Zustand aus Ü.-R. aufweisen. Die zur Kompensation des Temperaturkoeffizienten, der sich schnell sättigenden Gifte und etwaiger Forschungsbelastungen erforderliche Ü.-R. muß durch die Steuerorgane (Absorberstäbe) vernichtet werden, um den Reaktor stationär zu erhalten.

Ein Reaktorentwurf, der den erwähnten Effekten Rechnung trägt und demnach für volle Betriebstemperatur berechnet ist, heißt *Bezugsreaktor. Die Neutronenbilanz eines thermischen Bezugsreaktors, gefüllt mit

U^{235} (Index 25) und U^{238} (Index 28) lautet im stationären Zustand

Überschuß-Reaktivität

$$k_{25}\,\sigma_{25}\,z_{25}^{*}\,\Phi = \left(\sigma_{25}\,z_{25}^{*} + \sigma_{28}\,z_{28}^{*} + \sigma_{\mathrm{Xe}}\,z_{Xe}^{*} + \right.$$
$$\left. + \sigma_{\mathrm{Sm}}\,z_{\mathrm{Sm}}^{*} + \sum_{g} \sigma_g\,z_g^{*}\right)\Phi + K^{*}\,\Phi \qquad (1)$$

Dabei bedeuten die σ Absorptionsquerschnitte, $z_{ik}(\mathfrak{r})$ ist die Konzentration des Stoffes $i\,k$. Der Stern weist auf den Bezugsreaktor hin. Weiter ist

$$k_{25} = \nu_{25}\,\varepsilon\,p\,P\,\sigma_{25}^{f}\,/\,\sigma_{25}$$

(ν_{25} Neutronenvermehrungszahl pro Spaltung, ε Schnellspaltfaktor, p Bremsnutzung, P Wahrscheinlichkeit dafür, daß ein Neutron während des Bremsvorganges den Reaktor nicht verläßt). Das Glied $K^{*}\Phi$ mißt die aus dem Reaktor ausströmenden thermischen Neutronen. Mit dem Index g wurden die verschiedenen Strukturgifte (Moderator, Kühlmittel, Hülsen) bezeichnet.

Ein dem Bezugsreaktor entsprechender wirklicher Reaktor könnte allerdings nur kürzere Zeit laufen, da der Abbrand des Spaltstoffs, die Entstehung neuer Spaltstoffe und der Spaltprodukte nicht berücksichtigt ist. Der Reaktor muß also mit einer weiteren Ü.-R. ausgestattet werden, die ihm eine gewisse „Reaktivitäts-Lebensdauer" verleiht, d. h. einen Zeitraum, innerhalb derer er (theoretisch) mit $\varrho \geq 0$ arbeiten kann. Um diesen Anteil der Ü.-R. abzuschätzen, muß man die Neutronenbilanz des Reaktors nach längerer Betriebszeit aufstellen:

$$\sum_S k_S\,\sigma_S\,z_S\,\Phi = \Big[\sum_S \sigma_S\,z_S + \sum_B \sigma_B\,z_B + \sum_H \sigma_H\,z_H +$$
$$+ \sum_{Sp} \sigma_{Sp}\,z_{Sp} + \sum_g \sigma_g\,z_g + \sigma_{\mathrm{Xe}}\,z_{\mathrm{Xe}} + \sigma_{\mathrm{Sm}}\,z_{\mathrm{Sm}}\Big]\Phi +$$
$$+ z_A\,\sigma_A\,\Phi + K\,\Phi\,. \qquad (2)$$

Der Index S kennzeichnet die verschiedenen Spaltstoffe (U^{235}, Pu^{239}, Pu^{241}), B die Brutstoffe (U^{238}, evtl. Th^{232}), H die „höheren Isotope" (U^{236}, Pu^{240}, Pu^{242}), Sp die Spaltprodukte. Mit A wird die Absorptionskontrolle bezeichnet, die erforderlich ist, den Reaktor stationär zu halten (z. B. Kontrollstäbe oder verteiltes Absorptionsmaterial). Unter stark vereinfachenden Annahmen kann man die Gleichung des Bezugsreaktors von der des

Überschuß-Reaktivität

Reaktors im Betrieb subtrahieren und kann danach den Ausdruck

$$\varDelta = \frac{z_A \sigma_A}{z_{25}^* \sigma_{25}} \tag{3}$$

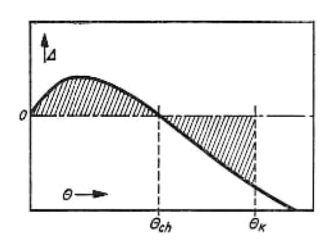
bilden, der als l o k a l e Ü. - R. bezeichnet wird:

$$\varDelta = \frac{1}{\sigma_{25} z_{25}^*} [\sum_S (k_S - 1) \sigma_S z_S - \sum_H \sigma_H z_H - \\ - \sum_{Sp} \sigma_{Sp} z_{Sp}] - (k_{25} - 1) \tag{4}$$

Hat man die Bilanzgleichungen zuvor über das Reaktorvolumen integriert, so ergibt sich stattdessen die m i t t l e r e Ü. - R. $\bar{\varDelta}$. Man hat dazu in der Gleichung (4) die Konzentrationen z durch den Mittelwert $\bar{z} = \int \Phi z \, \mathrm{d}V / \int \Phi \, \mathrm{d}V$ zu ersetzen. Es ist offenkundig, daß der Reaktor nur solange laufen kann, wie $\bar{\varDelta} \geqq 0$ ist. Die Konzentrationen z sind Funktionen der Bestrahlungszeit t (Laufzeit des Reaktors). Ein zweckmäßigeres Maß für die Bestrahlung ist das Zeitintegral des Flusses

$$\Theta = \int_0^t \Phi(t) \, \mathrm{d}t \tag{5}$$

(Flußzeit). Trägt man $\varDelta$ als Funktion von Θ auf, so ergibt sich eine Kurve von dem in der Abb. dargestellten Typus. Läuft der Reaktor im C h a r g e n b e t r i e b , so haben alle Brennstoffelemente, unter der Voraussetzung einer räumlich konstanten Flutverteilung, in jedem Zeitpunkt die gleiche Bestrahlung hinter sich, es ist $z = z$ und $\bar{\varDelta} = \bar{\varDelta}$. Die Lebensdauer der Reaktorfüllung ist also durch Θ_{Ch} gegeben. Anders verhält sich



der Reaktor mit kontinuierlicher Füllung. In diesem Fall befinden sich im Reaktor Elemente unterschiedlicher Bestrahlung. Die Lebensgeschichte jedes einzelnen Elements ist durch die Kurve der Abb. gegeben, doch sind die Kurven der einzelnen Elemente gegeneinander zeitlich versetzt zu denken, da sie zu verschiedenen Zeitpunkten in den Reaktor eingeführt wurden. Die Lebensdauer der (sich kontinuierlich ändernden) Füllung und damit des einzelnen Elements ist daher durch den Punkt gegeben, wo die zeitlich mittlere Ü.-R. Null wird, also durch Θ_k (die beiden schraffierten Flächen in der Abb. sind einander gleich). Die Überlegenheit des kontinuierlichen Betriebs ist offenkundig. [13]

engl.: excess reactivity

franz.: excédent de réactivité

Lit.: Reactor Handbook, Vol. I, Physics, Kap. VI, AECD-3645, auch Verl. McGraw-Hill, New York, 1955. – M. Benedict, u. T. H. Pigford, Nuclear Chemical Engineering, McGraw-Hill, New York, 1957.

Überschußventil, Ventil zur Regelung der Turbinenleistung durch Ableitung überschüssigen Dampfes in den *„Überschußkondensator". [8]

engl.: dump valve

franz.: vanne du condenseur-tampon

Überschußvermehrung ist diejenige Neutronenvermehrung in einem Reaktor, die über den zur Erhaltung der Kettenreaktion notwendigen Neutronenbedarf hinausgeht. Die Ü. ist also $\Delta k = k_{\text{eff}} - 1$. Sie führt zu einem Anstieg des Neutronenflusses. [7]

engl.: excess multiplication (factor)

franz.: (facteur de) multiplication excédentaire

Übertrager, allgemeine Bezeichnung für physikalisch-technische Systeme, in denen ein eindeutiger Zusammenhang zwischen einer Ausgangs- und einer Eingangsgröße besteht. Der Ü. wird durch seine *Übertragungsfunktion charakterisiert. Bei linearem Ü. ist diese durch die zugehörige Differentialgleichung, die entsprechende *Übergangsfunktion oder seinen *Frequenzeingang bzw. *Übertragungsfaktor beschrieben. Für die Theorie der *Regelung sind besonders die sog. rückwirkungsfreien Ü. von Bedeutung, bei denen nur die Eingangsgröße die Ausgangsgröße verändern kann,

aber nicht umgekehrt die Ausgangsgröße die Eingangsgröße. Ein typisches Beispiel dieser Art ist der Reaktor hinsichtlich Leistung und Reaktivität bzw. Kühlung, ferner fast alle Stellmotoren der Steuermechanismen, alle Meßverstärker, Relais und die meisten Ventile. [9]
engl.: transducer
franz.: organe de transfert, organe de transmission
Lit.: s. Regelung.

Übertragungsfaktor, in der linearen Regelungstheorie auftretender Faktor zwischen den Laplace-Transformationen der Eingangs- und Ausgangsgröße eines *Übertragers. Der Ü. hängt formal in gleicher Weise von der unabhängigen Variablen p im Transformationsbereich ab wie der *Frequenzgang von der imaginären Frequenz $j\,\omega$. Mathematisch erfaßt die Laplace-Darstellung mit der Variablen p jedoch auch noch zahlreiche Funktionsverläufe, für die die reine Fouriertransformation mit der rein imaginären Variablen $j\,\omega$ und damit der Frequenzgang versagt. Darin liegt die tiefere Bedeutung für den scheinbar nur formalen Übergang vom Frequenzgang zum Ü. [9]
engl.: transfer factor
franz.: facteur de transfert
Lit.: s. Regelung.

Übertragungsfunktion, allgemein die funktionale Abhängigkeit zwischen Eingangs- und Ausgangsgröße eines *Übertragers in einem Regelkreis, bei linearen Differentialgleichungen wird die Ü. auch identisch mit *Übertragungsfaktor und *Frequenzgang gebraucht. [9]
engl.: transfer function
franz.: fonction de transfert

Überwachungsbereich wird der Bereich innerhalb medizinischer, technischer, industrieller oder sonstiger Einrichtungen genannt, in dem mit Röntgen-Strahlen oder radioaktiven Substanzen gearbeitet wird und deshalb eine Überwachung und Kontrolle des Personals, der Räume, der Kleidung wie überhaupt aller Gegenstände auf eine mögliche Belastung mit energiereichen ionisierenden Strahlen oder eine mögliche Verseuchung erforderlich ist.
Durch die vermehrte Anwendung künstlich radioaktiver

Substanzen muß dieser Überwachungsbereich gegebenenfalls auch auf Transportmittel, Abfallgruben, Abwässer etc. ausgedehnt werden. [28]
engl.: controlled area
franz.: zone surveillée

Überwachungseinrichtungen, Sammelbegriff für alle Anlagen und Geräte zur laufenden Messung und Meldung des Betriebszustandes der Reaktoranlage. Die Signale der Ü. dienen teilweise nur zur allgemeinen Information des Bedienungspersonals, häufig jedoch zur automatischen Einwirkung auf bestimmte vorgegebene Steuerprogramme. [9]
engl.: survey instruments
franz.: instruments de surveillage

ug-Kerne, s. Kern.

UKAEA, Abk. für United Kingdom Atomic Energy Authority (AEA).

Ultrastrahlung, Synonym für kosmische *Strahlung.

Ultrazentrifuge, ein bisher vor allem in der Kolloidforschung benutztes Gerät, das durch die hohe Zentrifugalkraft in einem sehr rasch rotierenden Gefäß leichtere und schwerere Bestandteile einer Mischung zu trennen gestattet. Die U. ist neuerdings auch zur Trennung natürlicher Isotopengemische (s. Isotope und Isotopentrennung) herangezogen worden.
Die Umdrehungszahl der U. kann um so höher gewählt werden, je kleiner der Radius des Rotors ist. Vielfach geht sie über 1000 U/s; dabei werden Zentrifugalkräfte erreicht, welche das Millionenfache des Gewichts betragen. Die extremsten Verhältnisse sind mit magnetischen Rotoren aus gehärtetem Stahl erhalten worden, die im Vakuum magnetisch aufgehängt sind und magnetisch angetrieben werden. Mit einem Rotor von nur 0,52 mm Radius wurde eine Umdrehungszahl von 633 000 U/s (Umfangsgeschwindigkeit über 1000 m/s; Zentrifugalkraft das 428 Millionen-fache des Gewichts) erreicht, ehe er zerriß. [1]
engl.: ultra-centrifuge
franz.: ultra-centrifugeur

Umgebungsstrahlung, syn. f. *Raumstrahlung.

Umladung, s. Nachtrag.

Umwälzpumpen für Flüssigkeitskreisläufe erfor-

dern im allgemeinen geringere Pumpleistungen als die *Gebläse von Gaskreisläufen. Bei radioaktiven Flüssigkeiten erfolgt der Pumpenantrieb meist durch gekapselte *(canned)* Motoren, wobei Rotor und Stator durch eine Zwischenwand getrennt sind und der Rotor in der zu fördernden Flüssigkeit läuft. [8]
engl.: circulating pump
franz.: pompe de circulation

Umwandlung, s. Phasenumwandlung.

Umwandlung, innere, heißt der Übergang eines angeregten Kerns in den Grundzustand (oder niedrigeren angeregten Zustand) durch direkte Kopplung des Kerns mit einem Elektron der Hülle, insbesondere der K-, L- oder M-Schale. Das emittierte Elektron heißt *Konversionselektron und hat eine kinetische Energie, die gleich der Anregungsenergie, vermindert um die Bindungsenergie des Elektrons in der Hülle ist. Der Elektronenemission folgen mehrere γ-Quanten, die aus der Wiederherstellung der Ordnung in der Elektronenhülle rühren. Der Prozeß konkurriert mit der (i. a. häufigeren) Art der Abgabe von Anregungsenergie durch γ-Quanten aus dem Kern. Das Verhältnis der i. U. zum Übergang unter γ-Emission zwischen den gleichen Kernniveaus heißt der Koeffizient der i. U. (α)

$$\alpha = \alpha_K + \alpha_L + \alpha_M ,$$

wobei α_K die i. U. unter Emission eines Elektrons aus der K-Schale darstellt, α_L, α_M entsprechend. – In der älteren Literatur ist α als Bruchteil der i. U. von der Umwandlung überhaupt definiert und dort demzufolge < 1. [7]
engl.: internal conversion
franz.: conversion interne, transformation interne

Umwandlungsrate, s. Konversionsgrad.

unendlich dick nennt man einen ebenen Reflektor für Strahlung, wenn der *Reflexionskoeffizient von der Dicke des Materials unabhängig ist. [16]
engl.: infinitly thick
franz.: d'épaisseur infinie

unendlich dünn nennt man ein Beta- oder Alphastrahlen emittierendes radioaktives Präparat, das eine

so geringe Dicke besitzt, daß in ihm keine merkliche Selbstabsorption stattfindet. [16]
engl.: infinitly thin
franz.: infiniment mince

Untergrund heißt die gleichmäßige Schwärzung einer Photoplatte, aus der sich z. B. bei einer Aufnahme eines Linienspektrums die stärker geschwärzten Spektrallinien herausheben. Man bezeichnet auch schon in der Strahlung selbst den kontinuierlichen Anteil ihres Spektrums, dem noch einzelne Linien überlagert sind, als U. Ebenso wird als U. etwa bei der Zählung von Teilchen die Menge derjenigen zufällig vorhandenen Teilchen bezeichnet, die mit dem untersuchten Vorgang nichts zu tun haben. Ein Ereignis kann nur dann mit Sicherheit beobachtet werden, wenn es sich genügend deutlich aus dem U. heraushebt. [1]
engl.: back ground
franz.: fond continu

unterkritisch, s. kritisch.
engl.: subcritical *franz.: sous-critique*

Unterlagefehler bei Aktivitätsmessungen an radioaktiven Präparaten täuscht infolge Strahlungsreflexion an der Präparatunterlage eine höhere Aktivität vor. [16]
engl.: backscattering error
franz.: erreur de diffusion en retour, e. par diffusion sur le support

Uran (chemisches Symbol U), das schwerstatomige der in der Natur vorkommenden chemischen Elemente. Es hat die Ordnungszahl 92, das Atomgewicht 238,07, die Dichte 19,04, Schmelzpunkt 1132 °C. Wärmeleitfähigkeit (70 °C) 0,071 cal · cm^{-1} s^{-1} $°C^{-1}$. Das natürliche Uran besteht zu

99,28 % aus U-238
0,71 % aus U-235
0,0058 % aus U-234

Künstlich konnten auch die weiteren Isotope mit den Massenzahlen 228, 229, 230, 231, 232, 233, 236, 237, 239 und 240 gewonnen werden. In U., das 1952 der äußerst intensiven Neutronenstrahlung einer Wasserstoffbombenexplosion ausgesetzt worden war, sind so-

 gar zahlreiche noch höhere, durchweg β-strahlende U-Isotope bis hinauf zum U 255 nachgewiesen worden.

Vorkommen und Häufigkeit

U. ist verhältnismäßig selten; seine atomare Häufigkeit in der Erdrinde ist $3 \cdot 10^{-7}$. Dies ist zwar immer noch die Hälfte der Häufigkeit des Bleis, aber das meiste davon ist spurenweise in den Urgesteinen hauptsächlich als U_3O_8 enthalten. *Uranerze wie Pechblende oder Carnotit gibt es nur an wenigen Stellen. Nach mechanischer und chemischer Aufbereitung und Reinigung der Erze, wird das metallische Uran durch Reduktion mit Kalzium oder Magnesium aus seinen Halogeniden oder Oxyden, oder durch Schmelzflußelektrolyse von Uranhalogeniden, denen Alkali- und Erdalkalihalogenide zugesetzt sind, gewonnen. Näheres s. Urangewinnung.

Kristallstruktur:

α-Uran: Orthorhombisch. Stabil unter 663 °C. $n = 4$ Atome pro Elementarzelle. Schichtenstruktur mit gewellten Schichten (siehe Abb. 1 und 2). Die starke

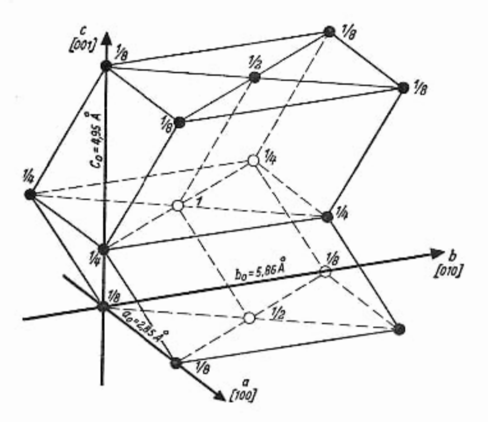


Abb. 1. Gitterbau des α-Uran

Anisotropie dieses Gitters kommt in der (röntgenographisch bestimmten) thermischen Ausdehnung eines



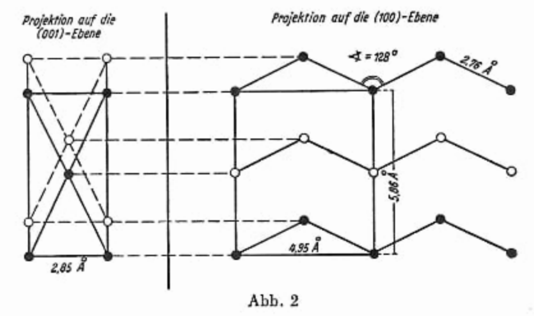


Abb. 2

Einkristalles zum Ausdruck:
Thermische Ausdehnung (25–125 °C)

in [100]-Richtung $+ 21{,}7 \cdot 10^{-6}$ pro °C
in [010]-Richtung $- \ 1{,}5 \cdot 10^{-6}$ pro °C
in [001]-Richtung $+ 23{,}2 \cdot 10^{-6}$ pro °C

Gitterkonstanten und Dichten

Temperatur	Gitterkonstanten	Dichte
25 °C	a_0 2,854 Å b_0 5,869 Å c_0 4,956 Å	$\varrho = 19{,}04$
200 °C	a_0 2,868 Å b_0 5,866 Å c_0 4,978 Å	$\varrho = 18{,}88$
400 °C	a_0 2,886 Å b_0 5,861 Å c_0 5,005 Å	$\varrho = 18{,}67$
650 °C	a_0 2,920 Å b_0 5,834 Å c_0 5,064 Å	$\varrho = 18{,}33$

β-Uran: Tetragonal. $n = 30$ Atome pro Einheitszelle. Stabil zwischen 668 und 774 °C.

Gitterkonstanten und Dichte:

Temperatur	Gitterkonstanten	Dichte
720 °C	a_0 10,759 Å c_0 5,656 Å	$\varrho = 18{,}11$

γ-Uran: Kubisch raumzentriert. $n = 2$ Atome pro Elementarzelle. Stabil zwischen 774 und 1132 °C (Schmelzpunkt).

 Gitterkonstante und Dichte:

$$800\ °C \qquad a_0 \sim 3{,}5\ \text{Å}; \quad \varrho = 18{,}06$$

Radioaktivität und Spaltbarkeit

Das Hauptisotop 238 des U.s ist schwach α-radioaktiv (s. Radioaktivität) mit einer Halbwertszeit von 4,6 Milliarden Jahren. Es ist der Ausgangsstoff der Uran-Radium-Zerfallsreihe. Aus diesem Isotop wird im Reaktor durch Anlagerung von Neutronen das Plutonium gewonnen, das als Atomsprengstoff Verwendung findet.

Alle ungeraden U.-Isotope sind durch thermische Neutronen spaltbar. Die Verwendung des natürlichen U.s im Reaktor beruht daher auf seinem Gehalt an dem Isotop 235. Dieses Isotop kann angereichert werden, wodurch eine größere Variabilität im Reaktorbau ermöglicht wird. Es ist auch vom natürlichen U. abgetrennt worden. In reiner Form ist es, ebenso wie das Plutonium, ein Atomsprengstoff.

Chemische Eigenschaften:

Chemisch ist das U. ein unedles Metall, das drei-, vier-, fünf- und vor allem sechswertige Verbindungen bildet. Es ist an der Luft sehr unbeständig und vor allem in geschmolzenem Zustand sehr reaktionsfähig. Aus seinen Oxyden (UO_3, U_3O_8, UO_2) kann es nur durch die stärksten Reduktionsmittel (z. B. metallisches Kalzium und Magnesium) reduziert werden. Das sechswertige U. hat amphoteren Charakter und bildet mit Basen Uranate. Uranmetall reagiert mit Wasser nach der Gleichung:

$$U + 2\,H_2O \rightarrow UO_2 + 2\,H_2$$

(neben Oxyd entsteht auch Hydrid).

Die Korrosionsgeschwindigkeit beträgt für reines Metall etwa 10 000 *mdd bei 100 °C, sie steigt exponentiell mit der Temperatur an. Durch Legieren des Metalls wird die Korrosionsgeschwindigkeit im allgemeinen erheblich reduziert.

Mit Wasserstoff reagiert Uranmetall unter Bildung von Uranhydrid:

$$U + 3/2\,H_2 \rightarrow UH_3\,.$$

Sowohl Oxyd als auch Hydrid haben eine erheblich geringere Dichte als das Metall, nämlich nur etwa

10 g/cm³. Findet die Bildung dieser Verbindungen unter der *Hülse statt, so kommt es zu *Aufbeulungen (*Druckwassertest!). *Brennstoffelemente ohne Lotschicht zwischen Uran und Hülse (s. Lötung von Brennstoffelementen) reagieren mit dem Wasser bei defekter Hülse unter primärer Bildung von Oxyd. Der dabei gebildete Wasserstoff diffundiert zwischen Uran und Hülse und reagiert bevorzugt dort, wo er an einer Weiterdiffusion gehindert wird, also besonders an den Enden der Brennstoffelemente. Platzen die gebildeten Beulen durch Überbeanspruchung des Hülsenmaterials, so tritt eine weitere Reaktion ein:

$$UH_3 + 2\,H_2O \rightarrow UO_2 + 7/2\,H_2\,.$$

Diese Reaktion verläuft meist stürmisch unter Aufreißen der Hülse.

Verhalten im Reaktor, Strahlenschäden: Die Strahlenschäden sind im U. besonders schwer, weil hier die energiereichen Spaltprodukte mit je etwa 80 bis 90 MeV Energie auftreten. Die

Änderung der mechanischen Eigenschaften

entspricht den allgemeinen Regeln (s. Strahlenschäden in Metallen). Am unangenehmsten wirkt sich die Versprödung aus, wenn die u. U. hohen Wärmespannungen bei hochbelasteten Brennstoffelementen nicht mehr getragen werden. Eine weitere unangenehme Erscheinung ist die Erniedrigung der Wärmeleitfähigkeit. Es entsteht dadurch eine Erhöhung der Zentraltemperatur im Brennstoffelement, die u. U. bis zur Erreichung der α-β-Transformationstemperatur bei 668 °C gehen kann. Die beiden beschriebenen Effekte sind die Hauptgründe für die Begrenzung der Lebensdauer von Brennstoffelementen.

Wachstum (*growth*)

(Längenänderung ohne Volumenänderung). Das Wachstum hängt mit der anisotropen Struktur des α-Urans zusammen und tritt nur dann auf, wenn das polykristalline Gefüge eine *Textur aufweist.

Ausdehnung eines Einkristalls von α-Uran unter Bestrahlung:

in [100]-Richtung: negativ
in [010]-Richtung: positiv
in [001]-Richtung: keine Änderung

Diese irreversiblen Längenänderungen sind den reversiblen bei einmaliger Temperaturänderung (vgl. jedoch thermische Wechselprüfung) genau entgegengesetzt, was man aus dem Gitteraufbau des α-Urans heraus verstehen kann. Bei statistischer Orientierung der Kristallite bleibt eine makroskopische Längenänderung aus. Die Beseitigung von Texturen, die durch *Walzen ins Material kommen, ist durch eine *Wärmebehandlung möglich, die eine Erwärmung in die β- oder γ-Phase einschließt.

Oberflächenaufrauhung (*wrinkling*)

Dieser Effekt beruht auf dem gerichteten Wachstum der einzelnen Körner in der Oberfläche. Er ist um so größer, je gröber das Korn ist. Durch die Oberflächenaufrauhung kann u. U. die Wärmeabfuhr vom Uran an das Hüllmaterial verschlechtert werden. Die Folge davon kann eine Überhitzung des Brennstoffs sein. Man reduziert die Schäden dieser Art stark, wenn man durch geeignete Wärmebehandlung ein möglichst feines Korn einstellt. (Zusatz geringer Mengen eines Legierungspartners, Abschrecken aus der β- oder γ-Phase).

Schwellen (*swelling*)

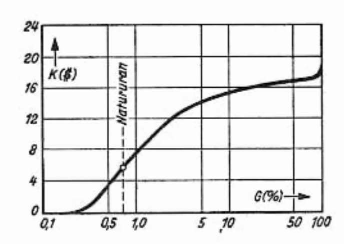
Aufweitung des Gitters durch die gebildeten Spaltprodukte, insbesondere Spaltgase. Dadurch tritt eine Dichteverminderung ein. Bei mikroskopischen Schliffbildern bestrahlten Urans zeigen sich Hohlräume, die man als Ansammlung von Spaltgasen deutet.

Kosten bei verschiedener Anreicherung.

Die Kosten von Uran steigen mit dem Anreicherungsgrad. Zur Orientierung kann ein von der US-AEC ausgearbeitetes Diagramm dienen, das von der Kaskadentheorie (s. Isotopentrennung) ausgeht. Das Uran wird dabei in der Gestalt von UF_6 vorausgesetzt. Unter K sind die Kosten eines Gramms ^{235}U in Dollar zu ver-

stehen, das im UF_6 zu G Gewichtsprozent enthalten ist. [1, 4, 13, 20]

engl.: uranium *franz.: uranium*



Lit.: M. Benedict u. T. H. Pigford, Nuclear Chemical Engineering, McGraw-Hill, New York, 1957. – Foote, Proc. of the Internat. Conf. on the Peaceful Uses of Atomic Energy held in Geneva, Bd. 9, 33 (1956).

Uranbrenner, Uranmeiler, Uranmaschine, während des Krieges in Deutschland gebräuchliche Bezeichnungen für die damals gebauten unterkritischen Anordnungen. Die Versuche zielen auf eine kritische, Wärme liefernde Anordnung, den heutigen *Reaktor. Ein solcher ist bis 1945 nicht erreicht worden. Atombomben wurden nicht erstrebt. [7]

Uran-Chlorierung, Bezeichnung für einen Hochtemperatur-Separationsprozeß für bestrahltes Uran. Das Uran wird gemeinsam mit den Spaltprodukten bei Temperaturen von 700 und bis 900 °C in einer Schmelze von Bleichlorid ($PbCl_2$) oder durch gasförmiges HCl chloriert. Anschließend reduziert man entweder auf elektrolytischem Wege oder mittels Magnesium-Metall Uran-Kationen zu Metall. Bei der Reduktion durch Magnesium vermag dieses die meisten Spaltprodukte nicht zu reduzieren, so daß diese als Chloride zurückbleiben. Durch eine Chlorierung mit anschließender Reduktion erreicht man also eine partielle Entgiftung von Uran und Spaltprodukten. Die Trennung von Zirkon, Ruthenium und Niob gelingt dabei jedoch nur unvollkommen. [22]

engl.: uranium chlorination

franz.: chloruration de l'uranium

Lit.: s. Hexon.

Uranerze. Man unterscheidet primäre Erze = Oxyde mit einer Zusammensetzung von etwa U_3O_8 (*Pechblende) und sekundäre Erze, die aus den primären durch Verwitterung entstehen, etwa *Carnotit $K_2O \cdot 2\,UO_3 \cdot V_2O_5 \cdot x\,H_2O$, *Uranit = Autunit $CaO \cdot 2\,UO_3 \cdot P_2O_5 \cdot x\,H_2O$, *Cleveit, Torbernit $Cu(UO_2)_2[PO_4]_2 \cdot 8\,H_2O$, Zeunerit $Cu(UO_2)_2[AsO_4]_2$ usw.

Der Abbau wird von einem mittleren U-Gehalt von etwa 1000 ppm ab wirtschaftlich. In besonders gelagerten Fällen gewinnt man Uran auch aus ärmeren Erzen, bis zu einem U-Gehalt von 200 ppm herab, besonders dann, wenn außer U auch andere verwendbare Stoffe gewonnen werden können. [20]

engl.: uranium ores

franz.: minéraux uranifères, minerais d'uranium

Uranfluoride. Es gibt die folgenden Verbindungen von Uran und Fluor: UF_3, UF_4, U_4F_{17}, U_2F_9, UF_6; sie bilden sich bei der Fluorierung von Uran. Dieses geschieht entweder durch Verbrennung von Uran im Fluorstrom oder durch Auflösung von Uran bei hohen Temperaturen in Fluorsalzen in Anwesenheit von gasförmigem F, schließlich durch Auflösung von Uran in Fluor-Halogen-Verbindungen wie Bromtrifluorid bei Zimmertemperatur in flüssiger Lösung. Das bekannte UF_6 ist gasförmig und das Endglied der Fluorierungsreihe. Das Urantetrafluorid dagegen ist fest, nicht-flüchtig und unlöslich. Die übrigen Uranfluoride sind relativ unstabil und nur als Zwischenglieder bei der Uranfluorierung anzusehen. Bei Überschuß von Fluor bildet sich aus allen übrigen Uranfluoriden das UF_6. Dieses ist thermisch stabil und kann in Behältern und Geräten aus konventionellem Material einschließlich trockenem Glas hantiert und gelagert werden. Beim UF_6 koinzidiert die Valenzzahl mit der Koordinationszahl im Kristallgitter, so daß bei sehr starker Ionenbindung zwischen Fluor und Uran die Bindung innerhalb des Gitters fast ausschließlich durch die sehr schwachen van-der-Waals-Kräfte aufrechterhalten wird; daraus resultiert die große Flüchtigkeit und der hohe Dampfdruck der Substanz (s. Tabelle). Bei der Auflösung von bestrahltem Uran in Bromtrifluorid fällt das anwesende

Plutonium als nicht flüchtiges, nicht lösliches Fluorid (überwiegend Plutoniumtrifluorid) aus und kann vom Uranhexafluorid getrennt werden. Das UF_6 kann von Fluoriden des Rutheniums und Niobs mittels Destillation leicht separiert werden. Die Fluoride des Jods und Tellurs kann man mittels fraktionierter Destillation vom UF_6 trennen. Das UF_6 hat also neben seiner Verwendung bei der Isotopentrennung von U^{235} und U^{238} auch bei der Entgiftung von Uran und der Trennung von Uran und Plutonium an Bedeutung gewonnen.

Uranfluoride

Uran-IV-Fluorid *(green salt)*

Grünes Pulver der Formel UF_4. Übliche Ausgangsverbindung für die Reduktion zum Metall. Herstellung des UF_4 meist aus *Uran-IV-Oxyd durch Einwirkung gasförmiger Flußsäure nach

$$UO_2 + 4\,HF \rightarrow UF_4 + 2\,H_2O\,.$$

Eine weniger wichtige Methode der Herstellung ist der *van Impe-Prozeß.

Uran-VI-Fluorid

Molekulargewicht: 352,7

Tripelpunkt: 64,2 °C bei 1137 mm Hg

Sublimationspunkt: 56,4 ± 0,2 °C bei 1 atm.

freie Energie der Bildung: 516 ± 3 kcal/mol bei 25 °C

freie Energie der Sublimation: 11,495 kcal/mol bei 64 °C

freie Energie der Verdampfung: 6,905 kcal/mol bei 64 °C

freie Energie der Fusion: 4,588 kcal/mol bei 64 °C

C_p:
$32{,}43 + 0{,}007936 \cdot T\text{-}320680/T^2$ kcal · mol^{-1} · $°K^{-1}$

Dichte (flüssig) : 3,674 g · cm^{-3}

Dichte (fest) : 4,92 g · cm^{-3} bei 64 °C

Viskosität der Flüssigkeit: 0,687 ± 0,007 Centipoise bei 72,6 °C

Oberflächenspannung: 16,8 dyn · cm^{-1} bei 70 °C

Refraktion n_D: 1,3580 ± 0,0004 bei 70 °C

Dielektrizitätskonstante: 2,57

Ohmscher Widerstand (fest) : 10^{14} Ohm · cm
Wärmeleitung (flüssig) :
$3{,}8 \cdot 10^{-4}$ cal · s^{-1} · cm^{-2} · $°C^{-1}$ · cm^{-1} bei 72 °C.

engl.: uranium fluorides *franz.: fluorures d'uranium*

Werte nach Hymen, Vogel u. Katz, Progress in Nuclear Energy, III. Series, Process Chemistry, Bd. 1, S. 256, Pergamon Press, London, 1956. [20, 22]

Uran-Fluorierung ist ein wesentlicher Prozeß im Rahmen der Kernbrennstoffaufbereitung, bei dem

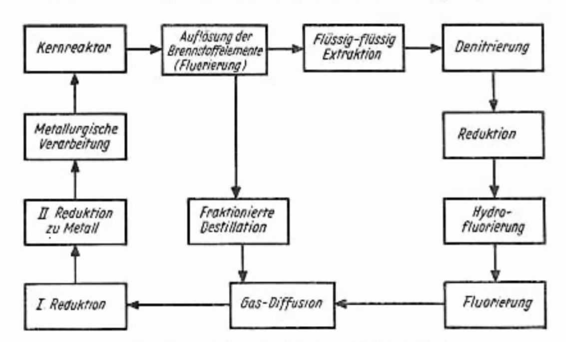


Abb. 1. Uranzyklus im Fluorierungsprozeß.

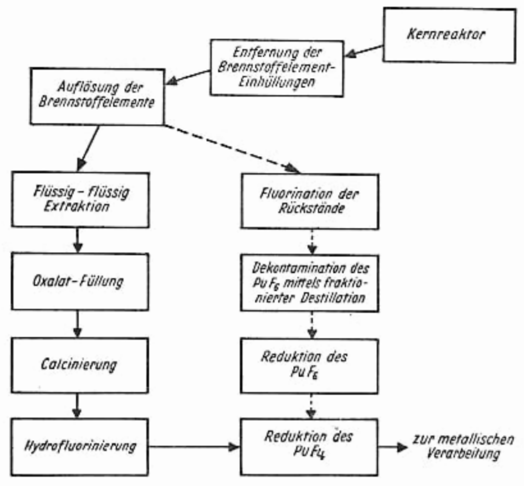


Abb. 2. Plutoniumzyklus im Fluorierungsprozeß.

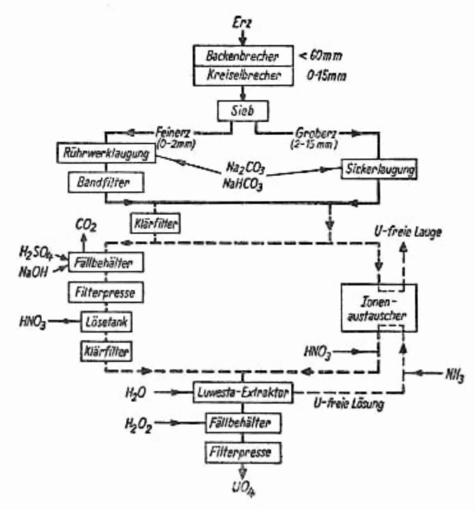
die Kernbrennstoffe in die Fluoridform übergeführt und mittels fraktionierter Destillation von den Spaltprodukten und Plutonium getrennt werden, s. Fließschema 1. Das gebildete Uran-Hexafluorid UF_6 wird anschließend zu Metall reduziert und zu Brennstoffelementen verarbeitet. Die Trennung vom Plutonium und den Spaltprodukten wird mittels Extraktion in der flüssigen Phase durchgeführt. Ähnlich verläuft die Plutoniumfluorierung, s. Fließschema 2. [22]

engl.: uranium fluorination

franz.: fluoruration d'uranium

Lit.: TID 7534 (s. Extraktionsprozesse). – G. I. Cathers, Fluoride Votality Process for High Alloy Fuels, ORNL 57-4-95.

Urangewinnung. Das Uranisotop U-235 ist die einzige natürlich vorkommende *spaltbare Substanz. Es wird dem Kernreaktor im natürlichen Uranisotopengemisch oder in angereicherter Form als Metall, Legierung oder chemische Verbindung (Oxyd, Uranylsalz)



zugeführt. Reines Uran muß aus dem Erz gewonnen werden. Seine mittlere Massenhäufigkeit in der Erdkruste liegt mit 4 g/t in der Größenordnung des

Bleies. Die Gewinnungsmethoden werden durch den Urangehalt bestimmt. Der Urangehalt der bekannten Erzvorkommen schwankt etwa zwischen 10 kg/t und 20 g/t. Als abbauwürdig, also rentabel, gelten noch Vorkommen mit 0,01 % und weniger, wenn gewinnbringende Nebenprodukte gewonnen werden können. Für die Auswahl der Gewinnungsverfahren ist bestimmend, daß man nicht wie sonst das Rohmetall herstellen und dann raffinieren kann, sondern daß bereits die der Reduktion zuzuführenden Uranverbindungen rein sein müssen. Da die Erze im Durchschnitt mit 0,1 bis 0,3 % U_3O_8 sehr arm sind, kommt von den physikalischen Aufbereitungsmethoden nur die *Flotation, die für arme Erze entwickelt worden ist, in Frage. Anreicherungen auf das Vierfache der Ausgangskonzentration sind möglich, wenn die Partikelgröße 20 μ und mehr beträgt. Da aber danach noch eine chemische Auslaugung (s. Laugen, Extraktion) notwendig ist, lohnt sich Flotieren meist nicht, zumal man für die Laugung nicht so fein zu mahlen braucht. Folgende Stufen sind im Prinzip zu durchlaufen (s. Abb. auf S. 549):

1. *Zerkleinern, *Aufbereiten, Probenahme,
2. Vorbehandlung: Glühen, Rösten,
3. *Laugen,
4. Abtrennung des gelösten Urans vom Rückstand (Filtrieren, Zentrifugieren),
5. Abscheiden und Reinigen des Erzeugnisses.

Vielfach genügt eine Zerkleinerung durch Brechen auf 10 . . . 15 mm Korngröße, mitunter ist jedoch Mahlung bis auf 0,1 mm Korngröße erforderlich. Der Zerkleinerungsgrad hat einen Einfluß auf die Probemenge, die zur Bestimmung des Urangehaltes erforderlich ist. Je feiner die Mahlung, desto kleiner die Probemenge. Die Laugung erfolgt mit Salpetersäure (saure Laugung). Sie ist allgemeiner anwendbar, erfordert jedoch einen größeren apparativen Aufwand (säurefeste Gefäße) und bringt Verunreinigungen in Lösung. Die Laugung mit Soda (alkalische Laugung) gibt reinere Lösungen, ist aber nicht so allgemein anwendbar und erfordert i. a. Wärmezufuhr. Die Abtrennung der Uranverbindungen von der Gangart erfolgt durch Eindicken und *Filtrieren, gelegentlich auch *Zentrifugieren. Die

Abscheidung und Reinigung wird häufig durch chemische Fällungsreaktionen vorgenommen (Fällung aus saurer Lösung mit Ammoniak oder Natronlauge als Uranat). Neuerdings stehen jedoch andere Methoden im Vordergrund des Interesses, nämlich die Anwendung von *Ionenaustausch und die *Solventextraktion. Als basische Anionenaustauscher werden solche mit quartären Ammoniumgruppen (*Dowex I und II, *Amberlit IRA 400) verwendet. Als Solventextraktionsmittel werden Äther, Tributylphosphat, Hexon (Methyl-Isobutyl-Keton) u. a. verwendet, die sich durch genügend hohe Selektivität auszeichnen. Das Uran wird als Uranylsalz (Nitrat oder Sulfat) aus der wäßrigen Lösung (Abgeber) in das Lösungsmittel (Aufnehmer) extrahiert und von hier durch Abdestillieren oder durch Rückextrahieren in Wasser mit Hilfe eines Aussalzmittels (vgl. Spaltstoffaufbereitung) gewonnen. Eine Extraktionsmaschine (z. B. Luwesta, vgl. Extraktion) mit 20 m^3/h Durchsatz erlaubt eine Produktion von 480 kg Uran je Tag bei einer Konzentration der Abgeberlösung von nur 1 g/l. Die größten Schwierigkeiten machen die Verunreinigungen, weil sie schon in Spuren die Neutronenbilanz thermischer Reaktoren verschlechtern können. So können Stoffe wie Bor, Samarium und Cadmium den Gesamtquerschnitt des Urans schon um 1 ‰ erhöhen, wenn sie in einer Konzentration von nur 0,1 ... 1 ppm (ppm = part per million = 10^{-4} %) vorliegen, Kupfer darf jedoch bis zu 500 ppm im Uran vorhanden sein, um dann erst dieselbe Verschlechterung hervorzurufen. Die weitere Verarbeitung zielt immer darauf ab, durch chemische Reaktion Urantetrafluorid UF_4 *(green salt)* zu gewinnen, aus dem dann durch Reduktion mit Kalzium oder Magnesium in Form metallischer Späne in einer Bombe das reine Metall gewonnen wird. Es wird im Vakuum umgeschmolzen und ist dann zur Verarbeitung bereit. Zur Anreicherung des Isotops U-235 wird das Tetrafluorid in das Hexafluorid UF_6 (gasförmig etwa oberhalb 55 °C) übergeführt, welches dann in einer Trennanlage, z. B. durch Diffusion, verarbeitet wird.

Schematisch läßt sich die Urangewinnung wie folgt formulieren:

Uranerz

↓ Konzentrierung

Urankonzentrat

↓ Lösen in Salpetersäure

Uranylnitrat $UO_2(NO_3)_2 \cdot 6\,H_2O$

↓ Feinreinigung

Nuklearreines Uranylnitrat

↓ $UO_2(NO_3)_2 \cdot 6\,H_2O + H_2O_2 \rightarrow$
$\rightarrow UO_4 \cdot 2\,H_2O + 2\,HNO_3 + 4\,H_2O$

Uranperoxyd

↓ $UO_4 \cdot 2\,H_2O \xrightarrow{\text{erhitzen}} UO_3 + 2\,H_2O + 1/2\,O_2$

Uran-VI-Oxyd

↓ $UO_3 + H_2 \xrightarrow{600\,^\circ C} UO_2 + H_2O$

Uran-IV-Oxyd

↓ Umsetzung mit wasserfreier Flußsäure
$UO_2 + 4\,HF \rightarrow UF_4 + 2\,H_2O$

Uran-IV-Fluorid

↓ $UF_4 + F_2 \rightarrow UF_6$

Uran-VI-Fluorid
(für Isotopentrennung)

Uran-IV-Fluorid ↓ Reduktion mit Ca (Calciothermie) oder Mg:
$UF_4 + 2\,Ca \rightarrow U + 2\,CaF_2$
$UF_4 + 2\,Mg \rightarrow U + 2\,MgF_2$

Uranmetall

In USA und Canada wird Uranylnitrat thermisch zum UO_3 zersetzt. An anderen Stellen fällt man das Uran als Ammoniumuranat und zersetzt dies zum UO_3. [2, 20]

engl.: uranium production

franz.: production d'uranium

Lit.: H. Ley, Die Gewinnung reiner Uranverbindungen aus Erzen, Chem.-Ing.-Techn. 29, 1957, Nr. 7, S. 460/466 (dort weitere Literaturhinweise). – D. H. Gurinski u. G. J. Dienes, Nuclear Fuels, London, 1956. – Verschiedene Beiträge in: Peaceful Uses of Atomic Energy, Bd. 8, S. 149 ff., Genf, 1955.

Uranide, s. Aktinide.

engl.: uranides

franz.: uranides

Uranit (Autunit, Kalkuranglimmer), wichtiges

Uranmineral, dessen Zusammensetzung meist folgender Formel entspricht: $Ca(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 8\,H_2O$. [3]
engl.: uranite-lime, autunite
franz.: uranite, autunite

Urankarbide. Es existieren zwei U. der Zusammensetzung UC und UC_2. Das Karbid U_2C_3, für dessen Existenz Anhaltspunkte im Zustandsdiagramm U-C vorhanden sind, ist umstritten. Die theoretischen Dichten der Karbide sind: 13,63 für UC und 11,28 für UC_2. Beide Karbide durchlaufen bei der Erwärmung bis zum Schmelzpunkt bei etwa 2400 °C keine Umwandlungen, sie lassen sich zu festen Körpern sintern. Diese Eigenschaften machen die Karbide als keramischen Brennstoff für Hochtemperaturreaktoren interessant. Mit Wasser reagieren beide Stoffe rasch unter Bildung von Kohlenwasserstoffen, so daß ihre Verwendung auf gasgekühlte Reaktoren beschränkt bleibt. Das Monokarbid hat günstigere mechanische Eigenschaften als das Dikarbid, seine Gitterstruktur ist kubisch-flächenzentriert im Gegensatz zu der tetragonalen des UC_2, Dichte und Urangehalt sind höher, so daß man im allgemeinen dem UC den Vorzug geben wird. Herstellung der Karbide auf pulverchemischem Wege. – Über das Verhalten der Karbide unter Reaktorbedingungen ist nichts publiziert. [20]
engl.: uranium carbides
franz.: carbures d'uranium

Urankonzentrat, Bezeichnung für Produkte mit mindestens 40 % Urangehalt, durch Konzentrierung aus Erzen gewonnen. Physikalische Anreicherungsverfahren, wie z. B. *Flotieren, spielen bei der Aufbereitung von Uranerzen nur eine untergeordnete Rolle, meist werden chemische Anreicherungsverfahren angewandt. Die wichtigsten Konzentrate sind Uranate des Natriums, Magnesiums oder Ammoniums mit Gehalten zwischen 50 und 75 % U_3O_8, die in den USA oft als Yellow cake bezeichnet werden. – Auch Oxyde der Zusammensetzung UO_2 und U_3O_8 und ein grünes Uranphosphat mit etwa 40 % U werden als Konzentrat bezeichnet. [20]
engl.: uranium concentrate
franz.: concentré uranifère

Uranoxyde. Es gibt vier U. von einiger Bedeutung, UO_2, U_3O_8, UO_3 und UO_4. Die Eigenschaften dieser Oxydationsstufen sind nachstehend aufgeführt.

Uran-IV-Oxyd, braunes Pulver der Formel UO_2. Wichtig als Zwischenprodukt bei der *Urangewinnung und als chemisch inerter hochschmelzender Kernbrennstoff. Es wird aus Uran-VI-Oxyd durch Reduktion mit Wasserstoff bei Temperaturen oberhalb 600 °C gewonnen. Die Umsetzung mit Flußsäure liefert daraus das Uran-IV-Fluorid als Ausgangsprodukt der Reduktion zum Metall. Das Oxyd läßt sich bis nahe der theoretischen Dichte sintern.

Eigenschaften:

Schmelzpunkt	2800 ... 2900 °C
Dichte (theor.)	10,97 g/cm^3
Makroskop. Absorpt.-Querschnitt für thermische Neutronen	0,165 cm^2/cm^3
Gitterkonstante bei 26 °C	5,468 Å

Gitterstruktur kubisch-flächenzentriert

Wärmeleitfähigkeit
(auf 100 %ige Dichte extrapoliert)

200 °C	0,019 cal/cm s °C
400	0,014
600	0,011
800	0,009
1000	0,008

Linearer therm. Ausdehnungskoeffizient

27 ... 400 °C	$9,1 \cdot 10^{-6}$ pro °C
400 ... 800	$10,8 \cdot 10^{-6}$
800 ... 1200	$13,0 \cdot 10^{-6}$

Strahlenschäden s. u. Brennstoff, keramischer.

Uran-VI-Oxyd, orangefarbiges Pulver der Formel UO_3. Wichtig als Zwischenprodukt bei der *Urangewinnung. Es entsteht hierbei durch thermische Zersetzung von Uranperoxyd, *Uranylnitrat oder Ammoniumuranat. Im weiteren Verlauf der Uranherstel-

Uranoxyde

Uranoxyde. Es gibt vier U. von einiger Bedeutung, UO_2, U_3O_8, UO_3 und UO_4. Die Eigenschaften dieser Oxydationsstufen sind nachstehend aufgeführt.

Uran-IV-Oxyd, braunes Pulver der Formel UO_2. Wichtig als Zwischenprodukt bei der *Urangewinnung und als chemisch inerter hochschmelzender Kernbrennstoff. Es wird aus Uran-VI-Oxyd durch Reduktion mit Wasserstoff bei Temperaturen oberhalb 600 °C gewonnen. Die Umsetzung mit Flußsäure liefert daraus das Uran-IV-Fluorid als Ausgangsprodukt der Reduktion zum Metall. Das Oxyd läßt sich bis nahe der theoretischen Dichte sintern.

Eigenschaften:

Schmelzpunkt	2800 ... 2900 °C
Dichte (theor.)	10,97 g/cm^3
Makroskop. Absorpt.-Querschnitt für thermische Neutronen	0,165 cm^2/cm^3
Gitterkonstante bei 26 °C	5,468 Å

Gitterstruktur kubisch-flächenzentriert

Wärmeleitfähigkeit
(auf 100 %ige Dichte extrapoliert)

200 °C	0,019 cal/cm s °C
400	0,014
600	0,011
800	0,009
1000	0,008

Linearer therm. Ausdehnungskoeffizient

27 ... 400 °C	$9{,}1 \cdot 10^{-6}$ pro °C
400 ... 800	$10{,}8 \cdot 10^{-6}$
800 ... 1200	$13{,}0 \cdot 10^{-6}$

Strahlenschäden s. u. Brennstoff, keramischer.

Uran-VI-Oxyd, orangefarbiges Pulver der Formel UO_3. Wichtig als Zwischenprodukt bei der *Urangewinnung. Es entsteht hierbei durch thermische Zersetzung von Uranperoxyd, *Uranylnitrat oder Ammoniumuranat. Im weiteren Verlauf der Uranherstel-

lung wird es zum Uran-IV-Oxyd reduziert und zum Uran-IV-Fluorid weiterverarbeitet.

Uranperoxyd, Uranoxyd der Formel $UO_4 \cdot 2\,H_2O$, hellgelb. Das Uran ist in dieser Verbindung 6wertig. Man erhält U. als Niederschlag beim Versetzen von Uranylnitratlösungen mit Wasserstoffperoxyd. Mögliches Zwischenprodukt bei der *Uranherstellung. [20]
engl.: uranium oxides
franz.: oxyde d'uranium

Uran-Pechblende, s. Pechblende.

Uran-Radium-Reihe, Zerfallsreihe mit der Massenzahl $4\,n + 2$, die sich vom $^{238}_{92}U$ ableitet. Ein markantes Glied dieser Reihe (mit langer Halbwertszeit) ist $^{226}_{88}Ra$. Das Schema findet man auf Seite 556. [18]
engl.: uranium series
franz.: série uranium-radium

Uranspaltung, s. Kernspaltung.
engl.: uranium fission
franz.: fission de l'uranium

Uranstab, s. Brennstoffstab.
engl.: uranium rod
franz.: barre d'uranium

Uranyl-Ion, UO_2^{++}, Kation der strahlungsstabilsten sechsten Wertigkeitsstufe des Urans. [18]
engl.: uranyl ion
franz.: ion uranyle

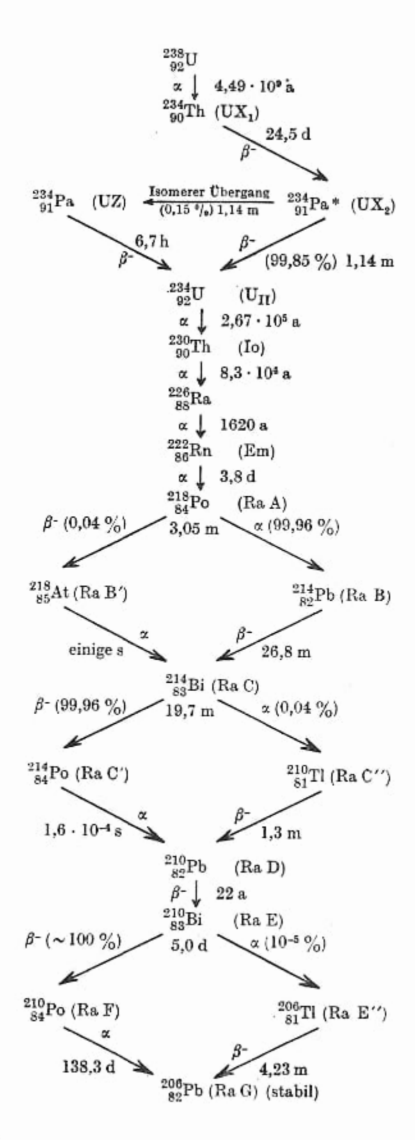
Uranylnitrat $UO_2(NO_3)_2 \cdot 3\,H_2O$ bildet sich bei der Auflösung von Uran in Salpetersäure. Es dissoziiert in Wasser zu UO_2^{++} und NO_3^-, es ist ein starker Elektrolyt. [22]
engl.: uranium nitrate
franz.: nitrate d'uranyle

Uranylsulfat, UO_2SO_4, wasserlösliches schwefelsaures Salz des 6wertigen Urans, das meist als Brennstoff für homogene Reaktoren dient. [18]
engl.: uranyl sulfate
franz.: sulfate d'uranyle

uu-Kerne, s. Kern.

UV-Zähler, s. Lichtzähler.

Uran-Radium-Reihe



V

V2A, geschützte Werksbezeichnung für einen korrosionsbeständigen Chrom-Nickel-Stahl (*Stahl). [4]

V4A, geschützte Werksbezeichnung für einen austenitischen, korrosionsbeständigen 18/8-*Stahl (etwa 18 % Cr, 8 % Ni), der durch Zusatz von 2,5–3,5 % Mo eine besonders große Säurebeständigkeit besitzt. [4]

Vakuumkristallisatoren, s. Kristallisieren.

Vanadin (Vanadium) (V), Metall mit der Dichte 6,0; Ordnungszahl 23, Atomgewicht 50,95. Schmelzpunkt 1735 ± 50 °C, Siedepunkt ungefähr 3400 °C. Absorptionsquerschnitt für thermische Neutronen $\Sigma_a = 0{,}33\ \mathrm{cm}^{-1}$. Kristallstruktur: kubisch raumzentriert.

V. ist ein wichtiges Legierungselement von Qualitätsstählen und hochwarmfesten Werkstoffen. [4]
engl.: vanadium
franz.: vanadium

van Impe-Prozeß, Methode der Herstellung von *Uran-IV-Fluorid aus *Uran-IV-Oxyd. Benannt nach dem Belgier van Impe. Das Verfahren arbeitet in zwei Stufen, ist also umständlicher als die wichtigere direkte Umsetzung von Uran-IV-Oxyd mit Flußsäure. Es vermeidet dafür aber die Handhabung der gefährlichen Flußsäure.
1. Stufe: Erwärmung eines innigen Gemisches aus Uran-IV-Oxyd und Ammoniumbifluorid. Es bildet sich ein Ammonium-Uran-Doppelfluorid:
$2\,UO_2 + 5\,NH_4HF_2 \rightarrow 2\,NH_4UF_5 + 4\,H_2O + 3\,NH_3$.
2. Stufe: Vakuumzersetzung des Doppelfluorids unter Sublimation. Ammoniumfluorid sammelt sich in der Vorlage und Uran-IV-Fluorid bleibt zurück:

$$NH_4UF_5 \rightarrow UF_4 + NH_3 + HF\,. \qquad [20]$$

engl.: van Impe process
franz.: procédé van Impe

Variabilität, biologische. Biologische Objekte der gleichen Gattung zeigen auch bei Inzucht nicht das gleiche übereinstimmende Verhalten wie etwa die Mo-

leküle der Chemie, sondern besitzen eine biologische Variabilität, s. a. Treffertheorie. [28]
engl.: biological variability
franz.: variabilité biologique

Variationsmethode in der Reaktortheorie. Die *Integralgleichung der Neutronendiffusion kann auch als Variationsprinzip formuliert werden. Diese Gleichung möge im einfachsten Fall

$$N(\mathfrak{r}) = \Lambda \int N(\mathfrak{r}') \cdot K(\mathfrak{r}, \mathfrak{r}') \, dV'$$

lauten. Man kann nun durch

$$\Lambda^* = \Lambda^*(N) = \frac{\int \psi(\mathfrak{r}) \, dV \int \psi(\mathfrak{r}') K(\mathfrak{r}, \mathfrak{r}') \, dV'}{\int \psi^2(\mathfrak{r}) \, dV}$$

ein Funktional Λ^* definieren, das zu einem Minimum wird, wenn $\psi(\mathfrak{r})$ mit der Lösung der Integralgleichung $N(\mathfrak{r})$ übereinstimmt. Es ist dann auch $\Lambda^* = \Lambda$. Der Vorteil der Methode besteht darin, daß sich auch für eine grobe Näherungslösung $N_0(\mathfrak{r})$ eine gute Näherung des Eigenwerts $\Lambda_0{}^*$ ergibt. Dieser Umstand beruht auf den Extremaleigenschaften von $\Lambda^*(N)$. Es ist immer $\Lambda < \Lambda_0{}^*$. Zur Behandlung des Variationsproblems können die üblichen Verfahren verwendet werden. Es empfiehlt sich u. a. die Ersetzung von $N(\mathfrak{r})$ durch ein passendes Polynom. [13]
engl.: varionatial method
franz.: méthode des variations

Lit.: B. Davison, Neutron Transport Theory, Clarendon Press, Oxford, 1957

Vektorfluß, eine physikalische Größe, die z. B. in der *Boltzmann-Gleichung auftritt. Man versteht darunter das Produkt aus Neutronendichte und (vektorieller) Geschwindigkeit, also

$$\mathfrak{F}(\mathfrak{r}, t, E, \vec{\Omega}) = n(\mathfrak{r}, t, E, \vec{\Omega}) \cdot v \, \Omega \, .$$

Der Betrag des V.s mißt die Zahl jener Neutronen, deren kinetische Energien zwischen E und $E + dE$ liegen, die sich in Richtung $\vec{\Omega}$ bewegen und in der Zeiteinheit eine Einheitsfläche durchsetzen, die sich bei $\mathfrak{r}$ befindet und senkrecht zu $\vec{\Omega}$ liegt.

Durch Integration über alle Raumrichtungen ergibt sich der gewöhnliche (skalare) Neutronenfluß:

$$\Phi(\mathfrak{r}, t, E) = \int |\mathfrak{F}(\mathfrak{r}, t, E, \vec{\Omega})| \, d\vec{\Omega},$$

der in der *Diffusionsgleichung auftritt. [13]
engl.: vector flux
franz.: flux vectoriel

Verbiegen von Brennstoffelementen, s. Brennstoffelemente.

Verbindungen, intermediäre, s. Verbindungen, intermetallische.

Verbindung, intermetallische (Intermediäre Phasen), eine aus zwei oder mehreren metallischen Komponenten aufgebaute homogene Phase, deren Kristallstruktur sich von der der reinen Komponenten unterscheidet. Nur ein Teil der i. V.n, die sogenannten Zintl-Phasen, können als Valenzbindungen im chemischen Sinn erklärt werden. Bei den Laves-Phasen spielen geometrische Prinzipien eine maßgebende Rolle, indem das Atomradienverhältnis von ungefähr 1,22 die Ausbildung zweier ineinander geschobener Gitter begünstigt. Für die Bildung der Hume-Rothery-Phasen ist die Energie der Valenzelektronen maßgebend, die bei den Elektronenkonzentrationen 1,5, 1,62 und 1,75 pro Atom für bestimmte Gittertypen ein Minimum wird. [4]
engl.: intermetallic compound
franz.: composé intermétallique

Lit.: G. Masing, Lehrbuch d. allg. Metallkunde, Springer, Berlin, 1950. – U. Dehlinger, Theor. Metallkunde, Springer, Berlin, 1955.

Verbindung, markierte, Vereinigung von einem oder mehreren radioaktiv markierten Elemente unter sich oder mit nicht radioaktiv markierten Elementen zu Molekülen. Die radioaktiven Atome sollen nach Möglichkeit eine definierte und die gleiche Position im Molekül einnehmen. [16]
engl.: labeled molecules, labeled compound
franz.: molecule marquée

Verbleibwahrscheinlichkeit, Wahrscheinlichkeit, daß

ein Neutron nicht aus einem Medium (Reaktor, Spaltzone) herausdiffundiert.

$$V + L = 1$$

L Ausflußwahrscheinlichkeit. [7]
engl.: non-leakage probability
franz.: probabilité de non-fuite

Verblockungen, schaltungstechnische Maßnahmen zur Verhinderung gleichzeitiger Steuerungen, die in ihrer Wirkung nicht miteinander verträglich sind. Typische Beispiele bei der Reaktorsteuerung sind: Starten des Reaktors und Ausfahren der Neutronendetektoren, Einstellen auf Vollast und Öffnen von Bedienungskanälen, Einstellen zweier Kühl- oder Spülkreisläufe, die bestimmte Rohrabschnitte in entgegengesetzter Richtung durchlaufen, gleichzeitiges Einstellen von Notkühlungen mit verschiedenen Kühlmedien u. dgl. mehr. Von den fast gleichbedeutenden *Verriegelungen unterscheiden sich die V. in etwa darin, daß hier die betroffenen Steuerbefehle prinzipiell nicht miteinander verträglich sind, während dort auch noch der jeweilige Betriebszustand der Anlage von Bedeutung ist. [9]
engl.: interlocks *franz.: verrouillages*
Lit.: S. Glasstone, Principles of Nuclear Reactor Engineering, D. van Nostrand Comp., New York, 1955.

Verbundkern. Kernreaktionen werden in der Regel so verstanden, daß man den beschossenen Kern zunächst mit dem Geschoß (z. B. Neutron, Proton, α-Teilchen) zum V. vereinigt denkt und dann die Wahrscheinlichkeit angibt, unter der der V. einen bestimmten Kernbaustein oder ein γ-Quant emittiert. Auch die (elastische und unelastische) Streuung wird erfaßt, wenn das emittierte Teilchen mit dem eingefallenen identisch ist. Der V. besteht während ca. 10^{-8} s. [7]
engl.: compound nucleus *franz.: noyau composé*

Verdampfen dient der Trennung gelöster Feststoffe (Salze) von ihrem Lösungsmittel (Flüssigkeit) durch teilweises oder vollständiges Abdampfen des letzteren. Das V. spielt eine wichtige Rolle bei der Aufkonzentrierung von Spaltproduktlösungen, um das benötigte Volumen zur Einlagerung dieser strahlenden Stoffe herabzusetzen. In der Verbrauchsgüterindustrie seit

langem bekannt und in vielfältiger Form in der Industrie der Salze und Laugen, in der Zucker- und Zellstoffindustrie usw. angewendet. Wärmetauscher, Kondensatoren, Pumpen sind allgemein übliche einschlä-

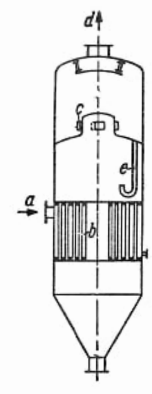


Abb. 1. Robert-Verdampfer
a Heizdampf
b Fallrohr
c Abscheider
d Brüden
e Ablauf

gige Bauelemente. Beim Wärmeaustausch sind die verkrustenden Heizflächen erschwerend, ferner spielen Siedepunktserhöhungen mit wachsender Konzentration (R a o u l t sches Gesetz) eine Rolle, weil eine optimale

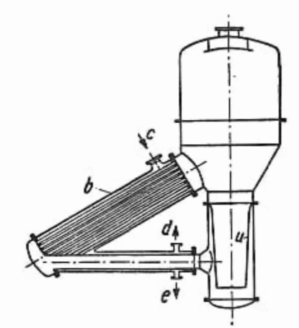


Abb. 2.
Vogelbusch-Verdampfer
b Heizkörper
c Heizdampf
d Entlüftung
e Kondensat
u Fallrohr

Wärmewirtschaft kleine Temperaturdifferenzen zwischen Heizmittel und verdampfender Lösung erfordert (3 ... 10 °C!). Im Prinzip werden zum Erhitzen Wärmetauscher in Form von Rohrbündeln in verschie-

 denster Bauweise (Verdampfer nach Roberts, Kestner, Vogelbusch, Rosenblad u.v.

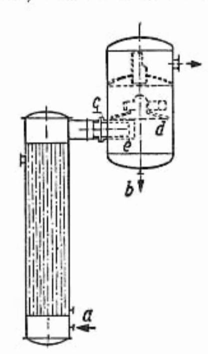


Abb. 3. Kestner-Verdampfer
a Laugeneintritt
b Laugenaustritt
c Einstellung
d Schaumabscheider
e tangentiale Einströmung

a. m.) verwendet. Der Heizdampfverbrauch läßt sich durch Mehrstufenverdampfung senken: Nur dem ersten „Körper", d. h. Verdampfer, wird Heizdampf zugeführt. Die nächsten Körper werden mit dem Brüden-Abdampf des jeweils vorhergehenden Verdampferkörpers, also dem ausgedampften Lösungsmittel, beheizt. Dazu müssen Druck und Tempe-

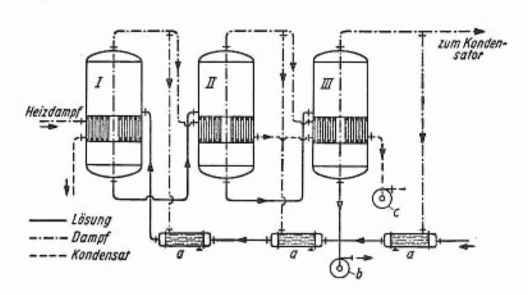


Abb. 4. Schema einer Dreikörperanlage
a Vorwärmer
b Laugenpumpe
c Kondensatpumpe

ratur (Vakuum, Brüdenverdichtung durch Kreisel- oder Dampfstrahlpumpen) entsprechend abgestuft werden. In die erste Stufe tritt die „dünne Lauge" ein, aus der letzten das Konzentrat aus. Die Anwendung von Stufen

erfordert die n-fache Unterteilung des verfügbaren Temperaturgefälles und, was das Entscheidende ist, nur den n-ten Teil des Heizdampfes, der bei nur einer Verdampferstufe nötig wäre! Allerdings wird etwas

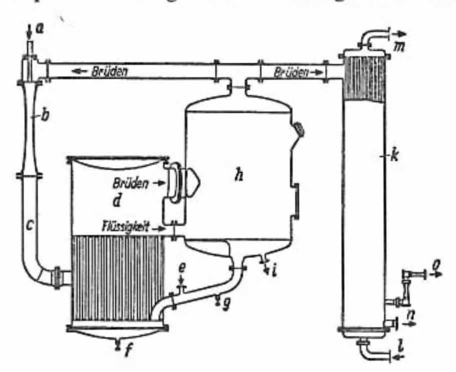


Abb. 5. Eindampfanlage mit Brüdenverdichtung durch Dampfstrahlpumpe

mehr als die n-fache Heizfläche gegenüber einer Verdampferstufe gebraucht. Für Wasser als zu verdampfendes Lösungsmittel kann man für $n = 1$, 2, 3 und 4 Stufen mit spezifischen Frischdampfverbräuchen von $D = 1{,}2$, 0,7, 0,5 und 0,4 kg/kg rechnen. Zahlreiche technische Schwierigkeiten sind im praktischen Bau und Betrieb zu überwinden, die wesentlich durch das zu verarbeitende Gemisch bestimmt werden. [2]

engl.: evaporation

franz.: évaporation

Lit.: Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, 3. Aufl., München-Berlin, 1951, Bd. 1: Chemischer Apparatebau und Verfahrenstechnik. – E. Hausbrand u. M. Hirsch, Verdampfen, Kondensieren und Kühlen, 7. Aufl., Berlin, 1931. – E. Kirschbaum, Die Wärmeaustauschapparate, Sammlung Göschen Nr. 1067, Berlin, 1933. – VDI-Richtlinien für Versuche an Verdampferanlagen, Berlin, 1941.

Verdampfungszentrifuge, s. Gaszentrifuge.

engl.: evaporation centrifuge

franz.: centrifugeuse à évaporation

Verdopplungszeit ist

1. die Zeit, nach deren Ablauf sich der Spaltstoffeinsatz eines Brutreaktors verdoppeln würde. Ist G der

Brutgewinn, p die spezifische Reaktor-Wärmeleistung, z. B. in MW/g Spaltstoff, c die durch Spaltung einer bestimmten Spaltstoffmenge freiwerdende thermische Energie (ca. 1 MW_{th} d/g Spaltstoff) und $1 + \alpha$ das Verhältnis der Zahl der verbrauchten Spaltstoffatome zur Zahl der gespaltenen, so beträgt die V.

$$\frac{c}{G\,p(1+\alpha)}\,.$$

2. die Zeit, die zur Verdopplung des Flusses notwendig ist. Die V. in diesem Sinne ist um den Faktor ln 2 kleiner als die *Reaktorperiode T. Der Begriff wird in diesem Sinne bevorzugt in England, weniger in Amerika gebraucht. [7, 12]
engl.: doubling time
franz.: période de doublement

Verdrängung, elektrolytische, s. Abscheidung, elektrolytische.
franz.: déplacement électrolytique

Verdünnungsanalyse, Methode zur Bestimmung eines Stoffes in einem Substanzgemisch durch Zugabe des gleichen, jedoch markierten Stoffes. Die *Markierung kann entweder durch Einführung eines radioaktiven Isotopes oder durch die Anwesenheit eines Atomes mit anomaler Isotopenverteilung erfolgen. Im letzteren Fall würde man von einer Isotopenverdünnungsanalyse sprechen.
Die Verdünnung der zugegebenen Substanz durch die zu bestimmende bewirkt eine Änderung der spezifischen Aktivität bzw. Isotopenzusammensetzung der ersteren, aus der die Menge der gesuchten Substanz errechnet werden kann. [3]
engl.: isotopic dilution analysis
franz.: analyse par dilution

Verdüsen, s. Zerstäuben.

Vereinigtes Institut für Kernforschung (Dubna), s. Nachtrag.

Verfahren, s. Grundverfahren.
engl.: operation *franz.: procédé*

Verfahrensingenieur ist nach deutscher Auffassung und Übung, abweichend vom *Chemical Engineer ame-

rikanischer Prägung, ein Ingenieur des Maschinenbauwesens, der z. B. an Stelle des Kraft- und Werkzeugmaschinenbaus ein eingehenderes Studium der Thermodynamik und der physikalischen Grundlagen des Verhaltens der Mehrstoffsysteme beim Wechsel der Aggregatzustände, der Hydrodynamik beim Zusammenwirken mehrerer Aggregatzustände und der Grenzflächenerscheinungen unter Einbeziehung des *Apparatebaues als Konstruktionsfach betrieben hat. Er soll physikalisch geschulter Konstrukteur, aber nicht Chemiker (und nicht *Chemiker-Ingenieur) sein und bleiben. Der Begriff ist umstritten und seit Jahren Gegenstand lebhafter Diskussion. [2]
engl.: chemical engineer
franz.: ingénieur chimiste

Verfahrenstechnik kann als die Lehre von den Mitteln und Methoden zur Durchführung der Prozesse der Verbrauchsgüterindustrien definiert werden. Da diese Prozesse ganz wesentlich solche des Stoff- und Wärmeaustausches in Mehrstoffsystemen sind (s. Grundverfahren), läßt sich der Begriff der V. auf die physikalischen Grundlagen des stofflichen Geschehens ausdehnen. Die V. umfaßt also beispielsweise die Thermodynamik und Hydrodynamik der Mehrstoffsysteme beim Wechsel der Aggregatzustände unter meist gleichzeitigem Stoff- und Wärmeaustausch und die Physik der Grenzflächenerscheinungen. Sie will diese Erscheinungen als Grenzgebiete der Naturwissenschaften durchdringen und unter einheitlichen Gesichtspunkten erforschen und technisch im *Apparatebau, also konstruktiv und betrieblich, anwenden. Die Formulierungen und Begriffe sowie der Name selbst sind umstritten und immer noch Gegenstand zahlreicher Diskussionen. [2]
engl.: chemical engineering
franz.: technique des procédés

Lit.: Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, 3. Aufl., München-Berlin, 1951, Bd. 1: Chemischer Apparatebau und Verfahrenstechnik. – S. Kießkalt, Verfahrenstechnik, München, 1951. – J. H. Perry, Chemical Engineers Handbook, 3. Aufl., New York, 1941. – Z. VDI: Beihefte Verfahrenstechnik.

Verfestigung, Zunahme von *Härte und Zugfestigkeit eines metallischen Werkstoffes (z. B. bei der *Kalt-

verformung). Mit der V. ist meistens eine Abnahme der plastischen Verformbarkeit verbunden. [4]
engl.: strengthening, strain hardening
franz.: durcissement

Verformbarkeit, s. Kalt-, Warmverformung, Plastizität.
engl.: forming property
franz.: aptitude à la déformation, déformabilité

Verfügbarkeitsgrad einer Maschine (k) ist definiert durch den Quotienten

$$k = \frac{F(t) + B(t)}{t},$$

$F(t)$ Betriebsstundenzahl im Zeitraum t, $B(t)$ Bereitschaftsstundenzahl im Zeitraum t.
Dieser Begriff spielt schon bei der Planung eines A-Kraftwerkes eine Rolle, da er z. B. mit die Frage entscheidet, in welchem Verhältnis die Zahl der Turbinen zur Zahl der Reaktoren zu stehen hat, um die wirtschaftlichste Anlage zu erhalten. Zur Zeit liegen über ihn bei den verschiedenen Reaktor-Typen noch keine ausreichenden Erfahrungen vor. Die bisherigen Erfahrungen deuten darauf hin, daß der V. eines Reaktors mindestens gleichgroß ist wie der einer Turbine. [21]

Vergiftung, radioaktive, s. Verseuchung, radioaktive, Kontamination, Reaktorgifte, Reaktorvergiftung (Nachtrag).

Vergiftungsfaktor k_d einer Substanz ist die Reaktivitätsänderung $\Delta k/k_{\mathrm{eff}}$, die eintritt, wenn diese Substanz in den Reaktor eingeführt wird, also

$$k_d \equiv \Delta k/k_{\mathrm{eff}};$$

k_d hängt vom Reaktortyp, der Stelle im Reaktor, und der Substanz sowie ihrer Menge ab. Der V. wird gewöhnlich in *cents je Mol angegeben. An Stelle von V. wird auch G e f ä h r d u n g s f a k t o r gesagt. Da heute (im Gegensatz zur Anfangszeit der Reaktoren) bei Einbringen einer zu bestrahlenden Substanz keine Veranlassung zu einer Gefahr des Absinkens des Flusses besteht (Sorge, der Reaktorbetrieb würde zum Erliegen kommen), ist die Bezeichnung V. richtiger.
Man kann durch Messung der Reaktivitätsänderung den Neutronenabsorptionsquerschnitt bestimmen.

Das zu untersuchende Material wird hierzu in einen Reaktor eingeführt. Bei der Messung kann man sowohl die Reaktorperiode als auch die Abweichung der Regelstäbe aus der Nullstellung (ohne Absorbersubstanz im Spaltraum) ermitteln und daraus den Absorptionsquerschnitt berechnen. Die Berechnung kann man durch eine Eichung mit einem Stoff bekannten Absorptionsquerschnittes ersetzen. Der V. ist von den kurzzeitigen Schwankungen der Reaktivität, die von Luftdruckschwankungen herrühren, abhängig. Die Meßgenauigkeit ist daher nur etwa 0,03 b für eine Probe, die aus 1 Mol Material besteht. [7, 26]
engl.: danger coefficient
franz.: coefficient de danger, c. d'empoisonnement

Vergiftungsüberschlag: a) physikalisch: vorübergehende oder dauernde Zunahme der Vergiftung eines Kernreaktors nach schnellen Verringerungen des Neutronenflusses bzw. der Leistung, s. Reaktorgifte. Ein V. entsteht, weil 1. die als Gift wirkenden Isotope zu einem erheblichen Anteil als Folgeprodukte von Beta-Zerfällen der primären Spaltprodukte entstehen, und 2. sie so langsam radioaktiv zerfallen und so große Einfangquerschnitte für Neutronen haben, daß beim Normalbetrieb ein merklicher Teil von ihnen durch Neutroneneinfänge abgebaut wird. Bedingung 1. bewirkt, daß die Zufuhr der Giftatome während einer endlichen Zeit nach dem Abschalten des Neutronenflusses mit fast unveränderter Intensität fortbesteht. Aus 2. folgt andererseits, daß der Abbau der Gifte im gleichen Zeitraum merklich kleiner ist als im vorausgehenden stationären Betrieb. Dadurch entsteht nach dem Abschalten zunächst ein Überschuß der Zufuhr von Gift-Atomen gegenüber dem Abbau, der zu einer Steigerung der Gesamtvergiftung führt. Der entstehende Anstieg der Vergiftung hört auf, wenn entweder der radioaktive Zerfall des Giftes selbst die abklingende Zufuhr aus den radioaktiven Vorgängern übersteigt oder deren Vorrat erschöpft ist. – Von den beiden wichtigsten Giften ^{135}X und ^{149}Sm ist das Samarium stabil, während das Xenon mit einer Halbwertszeit von 9,2 h zu ^{135}Cs zerfällt. Infolgedessen steigt die Samariumvergiftung nach dem Abschalten des Neutronenflusses

entsprechend der Zerfallszeit des vorausgehenden ^{149}Pm (47 h) monoton auf einen dauernd höheren Wert über die Ausgangsvergiftung an. Beim radioaktiven Xenon tritt demgegenüber nur ein vorübergehender V. auf, der wegen der kürzeren Zerfalls-Zeit (67 h) des vorausgehenden ^{135}I und der großen Absorptionsquerschnitte des ^{135}X ganz außerordentlich hohe Werte im Vergleich zur stationären Vergiftung erreichen kann.
b) S t e u e r u n g s t e c h n i s c h : größere V.e können ein ernstes Problem bei der Auslegung der Reaktivitätssteuerung eines Reaktors bedeuten, weil sie u. U. länger dauernde Unterbrechungen des Betriebes zur Folge haben oder ungewöhnlich hohe Anforderungen an die Trimmgeschwindigkeit und den *Trimmhub stellen, die nicht immer mit dem *Sicherheitssystem verträglich sind. Es ergibt sich eine minimale positive Trimmgeschwindigkeit (durch die die Reaktivität des Reaktors erhöht wird) aus der Notwendigkeit, auch die hohe Anfangsgeschwindigkeit des V. ausgleichen zu können. Außerdem folgt eine minimale negative Trimmgeschwindigkeit aus der Bedingung, daß auch der schnelle Abbau der Vergiftung bei plötzlich eingeschalteter Vollast (durch Neutroneneinfang) während eines V. noch übersteuert werden muß. Die Größe des V. kann deshalb zu einer ernsthaften konstruktiven Grenze gegenüber weiteren Steigerungen des Neutronenflusses bzw. der spezifischen Reaktorleistung werden. [9]
engl.: poisoning overshoot
franz.: empoisonnement brûtal
Lit.: S. Glasstone, Principles of Nuclear Reactor Engineering, D. van Nostrand Comp., New York, 1955.

Verlustoperator, s. Multiplikationsfaktor und Reaktorgleichung.

Vermehrung, Vermehrungsfaktor bei Neutronenprozessen, s. Neutronenvermehrung und Multiplikationsfaktor.
engl.: *multiplication*, bzw. *multiplication factor*
franz.: multiplication, bzw. *facteur de multiplication*

Vernetzung. Durch Bestrahlung werden in Kunststoffen Bindungen gesprengt und dadurch Radikalstellen erzeugt. Reagieren jetzt Radikalstellen verschiede-

ner Moleküle miteinander, so entsteht ein noch größeres Molekül mit veränderten Eigenschaften. [18]
engl.: crosslink

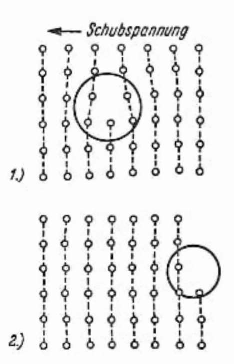
Vernichtungsstrahlung. Das Positron nimmt unter den Elementarteilchen eine besondere Stellung ein. Es ist nicht instabil; trotzdem ist es nicht zu konservieren. Es vereinigt sich nämlich mit einem Elektron mit einer sehr großen Wahrscheinlichkeit, so daß ein Positron – nach der Theorie das Antiteilchen zum Elektron – praktisch nur im Vakuum existieren kann. Die Energie der beiden Teilchen – kinetische Energie wie Ruhenergie – findet sich in elektromagnetischer Strahlung wieder. Da diese Strahlung durch Vernichtung von Materie entsteht, ist der Name naheliegend. Dasselbe gilt für die Paare Proton/Antiproton und Neutron/Antineutron. [7]
engl.: annihilation radiation
franz.: rayonnement d'annihilation

Verriegelung, vorübergehende Unterbrechung bzw. Sperrung bestimmter Signal- oder Steuerverbindungen bei bestimmten Betriebszuständen des Reaktors. Typische Beispiele sind: Abschaltungen einiger besonderer Sicherheitssignale bei kleinen Leistungen (z. B. Auslösung eines Schnellschlusses bei Öffnung von Strahlenkanälen), Absperrung bestimmter Betriebsräume bei Vollast u. dgl. S. a. Verblockung. [9]
engl.: interlocks
franz.: verrouillage

Verschiebungssatz, radioaktiver, ist der folgende, erstmals von Fajans und Soddy ausgesprochene Satz: Ein radioaktives Element, das ein α-Teilchen emittiert, rückt im periodischen System der Elemente um zwei Einheiten nach links. Beim β-Zerfall verschiebt es sich um eine Einheit nach rechts. Nachdem heute die Natur der emittierten Teilchen bekannt ist, ist der r. V. eine Selbstverständlichkeit. [1]
engl.: radioactive displacement law
franz.: loi de déplacement

Versetzung. Eine Stufenversetzung ist eine lineare Fehlstelle in einem Kristallgitter, die man sich

durch teilweises Entfernen einer *Netzebene entstanden denken kann. Der stark gestörte Bereich, der in der Zeichnung durch einen Kreis angedeutet ist, bildet die Versetzungslinie. Wenn die Schubspannung eine



Gleitung durch Bewegung einer Stufenversetzung (Schnitt senkrecht zur Versetzungslinie)

gewisse kritische Größe überschreitet, bewegt sich die Versetzungslinie und verursacht eine Gleitung des oberen Kristallbereichs gegen den unteren.
S c h r a u b e n v e r s e t z u n g e n bewirken eine wendeltreppenartige Anordnung der Netzebenen um die Versetzungslinie.
Die V.n wurden hypothetisch eingeführt, um die Erscheinungen der Plastizität deuten zu können. Ihre Existenz wurde später experimentell bestätigt. [4]
engl.: dislocation
franz.: dislocation
Lit.: A. Seeger, Theorie der Gitterfehlstellen, Handbuch der Physik, Bd. VII/1, Springer, Berlin, 1955.

Verseuchung, radioaktive. Man spricht von r. V., wenn eine unerwünschte radioaktive Substanz einer anderen beigemischt ist, oder wenn sich radioaktive Substanzen über Räume oder Einrichtungen verteilt haben, so daß sie gesundheitsgefährdend werden oder gewisse Einrichtungen oder Erzeugnisse für den vorgesehenen Zweck unbrauchbar oder unverläßlich machen. Die radioaktive Verunreinigung darf nach AERE

Harwell nicht überschreiten:

in warmen Laboratorien 10^{-4} µC/cm^2,
in heißen Laboratorien 10^{-3} µC/cm^2.

Der Fachausdruck heißt Kontamination. [7, 16]

engl.: contamination

franz.: contamination (radio-active)

Versprödung. Zunahme der Neigung zum Bruch bei mechanischer Beanspruchung (z. B. Stoß oder Schlag) und Abnahme der Plastizität eines metallischen Werkstoffes. V.n können z. B. durch *Kaltverformungen, durch gelöste Gase oder Fremdatome, durch Ausscheidungen, durch *Korrosionsvorgänge oder durch Bestrahlungen auftreten. [4]

engl.: embrittlement

franz.: écrouïssage, fragilité

Verstärker, s. Proportionalverstärker.

engl.: amplifier

franz.: amplificateur
multiplicateur de tension

Verstärker, logarithmischer, spezieller Typ von Verstärkern bzw. *Übertragern, deren Ausgangsgröße proportional zum Logarithmus der jeweiligen Eingangsgröße ist. Die logarithmische Kennlinie wird in den meisten Fällen durch den sechs bis sieben Zehnerpotenzen breiten Bereich des exponentiellen Anlaufstromgesetzes einer Diode gegenüber negativen Gegenspannungen erreicht (Richardson-Formel). Die Hauptschwierigkeiten dieses Verfahrens ergeben sich aus der Kleinheit der Spannungen (bei Elektronenröhren ca. 0,2 V pro Zehnerpotenz des Stromes) und aus der hohen Empfindlichkeit gegenüber kleinen Temperaturschwankungen (bei Oxydkathoden ca. eine Zehnerpotenz des Stromes pro 10 % Heizstromänderung). In neuerer Zeit werden deshalb Kunstschaltungen mit Mehrgitterröhren verwendet, durch die kleinere Temperaturschwankungen automatisch kompensiert werden. Weiterhin finden in zunehmendem Maße anstelle von Elektronenröhren Kristalldioden Anwendung, für die

etwa vergleichbare Stromspannungskennlinien gelten. [9]

engl.: logarithmic amplifier

franz.: amplificateur logarithmique

Lit.: A. B. Gillespie, Proc. of the Inst. of El. Eng., Vol. 103, B, 564 (1956).

Verstärkerfolien dienen zur Verstärkung der Röntgen-Strahlabsorption in der Bromsilberschicht der Röntgen-Filme. Normalerweise beträgt diese Absorption nur etwa 1 %, nur absorbierte Strahlung kann aber Schwärzung hervorrufen. Die unmittelbare Einwirkung der Röntgen-Strahlen auf den Röntgen-Film reicht zur Hervorrufung eines genügenden Effektes nicht aus. Die V. bestehen aus einem Material, das die nachzuweisende Strahlung absorbiert und unter ihrem Einfluß in photographisch wirksamer Strahlung fluoresziert.

Der Röntgen-Film, der beiderseits eine lichtempfindliche Schicht hat, wird während der Belichtung zwischen zwei Folien gelegt. Die Röntgen-Strahlen erzeugen auf jeder Folie ein Fluoreszenzbild, das von beiden Seiten auf den Film kopiert wird. Wesentlich ist also an den Verstärkerfolien eine fluoreszierende Leuchtschicht. Die Verstärkung tritt dadurch ein, daß die Folien weit mehr Röntgen-Strahlen absorbieren als der Film allein und daß die photographische Emulsion für das sichtbare Folienlicht empfindlicher ist als für das unsichtbare Röntgen-Licht.

Für gewöhnlich wird bei den Verstärkerfolien Calciumwolframat genommen, das in das Spektralgebiet der größten Empfindlichkeit der Bromsilberschicht fällt. [28]

engl.: intensifying screen, intensifying layer

franz.: sensibilisateur, écran renforçateur

Verstärkung, unterkritische, einer Neutronenquelle durch eine unterkritische Anordnung, s. Multiplikation, unterkritische.

Verstärkungssäule, oberer Teil einer *Rektifiziersäule.

engl.: rectifying column

franz.: colonne de rectification

Verstärkungsverhältnis, s. Rektifikation.
engl.: plate efficiency franz.: degré de concentration

Verteilung, Verteilungsgesetz. Das Verteilungsgesetz gibt die Verteilung (= relative Häufigkeit) von Partikeln über die Energie-, Impuls- oder Geschwindigkeitsskala an. – Es möge ein System aus sehr vielen, voneinander unabhängigen Massenpunkten vorgelegt sein. Dem System komme eine bestimmte Gesamtenergie (kinetische plus potentielle Energie aller Teilchen) zu. Es gehorche der idealen Gasgleichung. Man interessiert sich für die wahrscheinlichste Verteilung der Teilchen über ein System gleichgroßer Zellen im Phasenraum, d. h. im Lagen- und Impulsraum. Die wahrscheinlichste Verteilung ist dadurch gekennzeichnet, daß die Zahl W der verschiedenen Möglichkeiten zur Realisierung dieser Verteilung ein Maximum hat. Die Gleichung $\delta W = 0$ oder der Bequemlichkeit der Rechnung wegen auch $\delta \ln W = 0$ liefert die Bedingungsgleichung für das Maximum. Man erhält bei der Temperatur T und bei konstanter potentieller Energie im ganzen Lagenraum als wahrscheinlichste Impulsverteilung der N Teilchen nach der klassischen Statistik:

$$f(p) = \frac{N \cdot e^{-p^2/2mkT}}{(2\pi m k T)^{3/2}} \cdot 4\pi p^2 . \qquad (1)$$

Es ist $\int\limits_0^\infty f(p)\,dp = N$.

Das ist das klassische oder Maxwell-Boltzmannsche (Impuls-)Verteilungsgesetz (m ist die Masse des einzelnen Moleküls, p dessen Impuls und k die Boltzmann-Konstante). Aus (1) ist mit $p = mv$ das Maxwell-Boltzmannsche Geschwindigkeitsverteilungsgesetz abzulesen. Das V. (1) stellt bei fester Temperatur eine Gauß-Kurve dar. Für die Energieverteilung ergibt sich mit

$$Z = \frac{8\pi m^{3/2} E^{1/2} V}{\sqrt{2}\, h^3} , \qquad (2)$$

(wobei $Z \cdot dE$ die Zahl der Zellen vom Volumen h^3 im

Phasenraum mit der Energie zwischen E und $E + \mathrm{d}E$ darstellt, s. Statistik),

$$F_{\text{klass.}}(E) = \frac{Z\,N\,h^3}{(2\,\pi\,m\,k\,T)^{3/2}\,\mathrm{e}^{E/k\,T}}\,, \tag{3}$$

wenn man Individualität der Teilchen (B o l t z m a n n - sche Statistik) annimmt. (3) stellt das M a x w e l l - B o l t z m a n n sche E n e r g i e v e r t e i l u n g s g e s e t z dar. $F(E)\,\mathrm{d}E$ ist die Zahl der Moleküle mit einer Energie zwischen E und $E + \mathrm{d}E$. Nach der modernen Statistik ist für Bosonen

$$F_{\mathrm{BE}}(E) = \frac{Z}{\mathrm{e}^{\alpha}\,\mathrm{e}^{E/k\,T} - 1}\,, \tag{4}$$

für Fermionen

$$F_{\mathrm{FD}}(E) = \frac{Z}{\mathrm{e}^{\alpha}\,\mathrm{e}^{E/k\,T} + 1}\,. \tag{5}$$

Die Indizes BE und FD deuten auf B o s e - E i n s t e i n - bzw. F e r m i - D i r a c - Statistik hin. Ist $\mathrm{e}^{\alpha} \gg 1$, so kann man die 1 im Nenner von (4) und (5) vernachlässigen und gewinnt das B o l t z m a n n sche V. (3). Der Wert von e^{α} entspricht der Formel (3):

$$\mathrm{e}^{\alpha} = \frac{(2\,\pi\,m\,k\,T)^{3/2}}{N\,h^3}\,. \tag{6}$$

Man verifiziert leicht, daß für die Massen der Atome und Moleküle und nicht zu kleine Temperaturen die Voraussetzung $\mathrm{e}^{\alpha} \gg 1$ erfüllt ist. [7]
engl.: distribution law
franz.: loi de distribution

Verteilungsfunktion. Häufig sind Wahrscheinlichkeiten P (s. Wahrscheinlichkeitsbegriff) durch eine V. gegeben. Man unterscheidet *Wahrscheinlichkeitsdichte (Dichtefunktion) $f(x)$ und V. $F(x)$. Es besteht folgender Zusammenhang (s. Abb.):

$$P(x_1 < \underline{x} \leq x_2) = \int_{x_1}^{x_2} f(x)\,\mathrm{d}x = F(x_1)$$

$$P(\underline{x} \leq x_1) = \int_{-\infty}^{x_1} f(x)\,\mathrm{d}x = f(x_1)$$

$$f(x) = F'(x)\,.$$

Für eine stetige Wahrscheinlichkeitsdichte gilt

Verteilungsfunktion

$$P(\underline{x} = x_1) = \int_{x_1}^{x_1} f(x)\,\mathrm{d}x = 0\,.$$

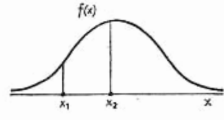
Dies ist ein mögliches Ereignis mit der Wahrscheinlichkeit Null. Daraus darf nicht geschlossen werden, daß ein Ereignis unmöglich ist, wenn seine Wahrscheinlichkeit Null ist. Jedoch trifft die Umkehrung zu: Ist ein Ereignis unmöglich, dann ist seine Wahrscheinlichkeit immer Null.

Es seien $\underline{x}_1, x_2, \ldots, \underline{x}_n$ insgesamt n *Zufallsvariable. Dann ist

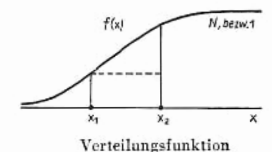
$$P(\underline{x}_1 \leq x_1, \ldots, \underline{x}_n \leq x_n) = F(x_1, \ldots, x_n)$$

eine n-dimensionale V. und

$$f(x_1, \ldots, x_n) = \frac{\partial^n F(x_1, \ldots, x_n)}{\partial x_1 \ldots \partial x_n}$$



Wahrscheinlichkeitsdichte



Verteilungsfunktion

eine n-dimensionale Wahrscheinlichkeitsdichte. Es folgt

$$F(x_1, \ldots, x_n) = \int_{-\infty}^{x_1} \ldots \int_{-\infty}^{x_n} f(x_1, \ldots, x_n)\,\mathrm{d}x_1 \ldots \mathrm{d}x_n$$

und

$$F(+\infty, \ldots, +\infty) = \int_{-\infty}^{+\infty} \cdots \int_{-\infty}^{+\infty} f(x_1, \ldots, x_n)\,\mathrm{d}x_1 \ldots \mathrm{d}x_n =$$

$$= \begin{cases} 1 & \text{für math. Wahrscheinlichkeitsdichte} \\ N & \text{für phys. Wahrscheinlichkeitsdichte} \end{cases}$$

Der Begriff der **Randverteilungsfunktion** *(marginal distribution function)* ist definiert durch

$$F(x_1, \ldots, x_k) =$$

$$= \int_{-\infty}^{+\infty} \ldots \int_{-\infty}^{+\infty} f(x_1, \ldots, x_n)\,\mathrm{d}x_{k+1} \ldots \mathrm{d}x_n; \quad n > k\,.$$

Die Randverteilungsfunktion reduziert eine n-dimensionale V. auf eine k-dimensionale. Infolge

$$f(x_1, \ldots, x_k) = \frac{\partial^k F(x_1, \ldots, x_k)}{\partial x_1 \ldots \partial x_k} = \frac{\partial^k}{\partial x_1 \ldots \partial x_k} \cdot$$

$$\cdot \int_{-\infty}^{x_1} \ldots \int_{-\infty}^{x_k} \int_{-\infty}^{+\infty} \ldots \int_{-\infty}^{+\infty} f(x_1, \ldots, x_k, x_{k+1}, \ldots, x_n) \cdot$$

$$\cdot \, dx_n \ldots dx_{k+1} \, dx_k \ldots dx_1$$

$$= \int_{-\infty}^{+\infty} \ldots \int_{-\infty}^{+\infty} f(x_1, \ldots, x_k, x_{k+1}, \ldots, x_n) \cdot dx_n \ldots dx_{k+1}$$

hat man

$$f(x_1, \ldots, x_k) = \int_{-\infty}^{+\infty} \ldots \int_{-\infty}^{+\infty} f(x_1, \ldots, x_n) \, dx_{k+1} \ldots dx_n$$

als Definition der Randwahrscheinlichkeitsdichte *(marginal density function).* [27]
engl.: distribution function
franz.: fonction de distribution
Lit.: s. Wahrscheinlichkeitsbegriff.

Verteilungskoeffizient, Nernstscher, gibt die prozentuale Verteilung eines Stoffes in zwei miteinander nicht mischbaren (oder sehr schwach mischbaren) flüssigen Phasen an. Der Verteilungskoeffizient für Ionen ist eine Funktion aller gleichzeitig anwesender Ionen in den Phasen. Zum Beispiel ist der V. bei der Auswaschung von Uranylnitrat aus der wäßrigen Phase mittels eines organischen Extraktionsmittels wie Hexon oder TBP gegeben durch

$$\frac{\text{Gew.-\% des Uranylnitrat im org. Extraktionsmittel}}{\text{Gew.-\% des Uranylnitrat in der Wasserphase}} \cdot$$

Es ist $0 \leq$ V. $\leq \infty$. S. z. B. Purex-Prozeß, Redox-Prozeß. [22]
engl.: distribution coefficient
franz.: coefficient de distribution

Vervielfachungsprinzip, s. Trennmethoden.

verzögert-kritisch, s. prompt-kritisch.
engl.: delayed critical
franz.: critique par les neutrons retardés (prompts)

Verzögerungszeitkonstante, Zeitkonstante τ der

exponentiellen Übergangsfunktion eines linearen Verzögerungsgliedes 1. Ordnung, für das folgende Darstellungsformen üblich sind:

Diff.-Gleichung: $$\tau \frac{dx_2}{dt} + x_2 = A \cdot x_1$$

Übergangsfunktion:

$$x_2(t) = x_2(0) + [x_2(\infty) - x_2(0)] \cdot (1 - e^{-t/\tau})$$

Frequenzgang: $$\frac{x_2(\omega)}{x_1(\omega)} = \frac{A}{1 + j\,\omega\,\tau}$$

x_1 Eingangs-, x_2 Ausgangsgröße, A Verstärkungsfaktor. [9]
engl.: time constant
franz.: constante de temps

Verzweigung, radioaktive. In den radioaktiven Zerfallsreihen gibt es öfters Stellen, an denen sich ein radioaktiver Kern auf zwei verschiedene Arten in zwei verschiedene Folgeprodukte umwandelt, also eine V. entsteht. Die beiden verschiedenen Folgeprodukte wandeln sich dann aber – auf zwei verschiedene Arten – in dasselbe weitere Folgeprodukt um, so daß der „Stammbaum" nicht dauernd verzweigt bleibt.
Eine der am längsten bekannten V.n ist z. B. der Zerfall des Radium C in der Uran-Radium-Reihe, welches zum Teil durch β-Zerfall in Radium C′, zum Teil auch durch α-Zerfall in Radium C″ übergeht. Die Halbwertszeiten beider Zerfallsvorgänge treten in diesen Fällen gar nicht für sich in Erscheinung, sondern nur eine gemeinsame Halbwertszeit, im obigen Fall 19,7 Minuten, welche alle zerfallenden Kerne zählt. Das „Verzweigungsverhältnis", das Mengenverhältnis der nach den beiden Zerfallsarten zerfallenden Kerne, ist für jede V. ein anderes, aber für eine bestimmte V. stets dasselbe. Im obigen Fall zerfallen z. B. auf je 10 000 Radium-C-Kerne stets 9996 durch β-Zerfall und nur vier durch α-Zerfall (mit statistischen Schwankungen). Es gibt jedoch auch V.n, wo das Verzweigungsverhältnis nahe bei 1 : 1 liegt. Beim Radium C setzt sich die Zerfallsreihe so fort, daß das häufiger auftretende Radium C′ durch α-Zerfall weiter zerfällt, das

Radium C'' durch β-Zerfall, so daß aus beiden dasselbe Folgeprodukt Radium D entsteht. [1]
engl.: branching *franz.: branchement*
Lit.: W. Riezler, Kernphysik, 6. Aufl., Oldenbourg, München, 1958.

Vickershärte. Härteprüfverfahren durch Messung des Eindrucks, den eine regelmäßige, vierseitige Diamantpyramide unter genormter Belastung in einem Metall hervorruft. Der Quotient aus Belastung und Eindruckfläche gibt die *Härte des Materials in Vikkerseinheiten (H_V oder HV) an. [4]
engl.: Vickers hardness
franz.: dureté Vickers
Lit.: DIN 50 133.

Vielfachstreuung bezeichnet häufige Streuprozesse von Elementarteilchen längs eines Wegstückes, wie man sie z. B. in der photographischen Emulsion oder in der Nebelkammer beobachtet. Derartige wiederholte Streuakte können u. U. eine gleichmäßige Krümmung von Bahnstücken vortäuschen. Man kommt daher zu falschen Ergebnissen, wenn man aus der Größe des angelegten Magnetfeldes ohne Vorsichtmaßregeln auf die Masse des Teilchens schließen will. Andererseits kann man aus der Art der Streuung auf endlichen Wegstücken auf die Natur des Teilchens schließen. Da die freie Weglänge der Teilchen in fester Materie durchwegs sehr kurz ist, beobachtet man nur die Auswirkung vieler Streuakte. Die Kenntnis der V. ist daher für die kernphysikalische Auswertung von Spuren in Photoplatten oder Nebelkammerbildern von großer Wichtigkeit. [7]
engl.: multiple scattering
franz.: diffraction multiple

Vielgruppenmodell, s. Gruppendiffusionsmethode.
engl.: multi-group model
franz.: modèle polygroupe

Vierfaktorformel, s. Neutronenvermehrung.
engl.: four factor formula
franz.: formule à quatre facteurs

Viskosität (innere Reibung, Zähigkeit), Impulsübertragung zwischen Flüssigkeitsschichten verschiede-

ner Strömungsgeschwindigkeit, verbunden mit einer Umwandlung von kinetischer Energie in Wärme. Die V. (Zähigkeit) einer Flüssigkeit nimmt mit steigender Temperatur nach einem Exponentialgesetz ab. Die V. von Metallschmelzen liegt in derselben Größenordnung wie die von Wasser. – In die Gleichungen der Strömungsmechanik geht der Quotient aus V. und Dichte (sog. kinematische Zähigkeit) ein.

In der kinetischen *Gastheorie wird der Impulsstrom durch den Drucktensor

$$P_{ij} = m \int V_i V_j f \, d\mathfrak{v}$$

angegeben, wobei m die Teilchenmasse, V_i die Eigengeschwindigkeit der Teilchen und $f = f(\mathfrak{r}, \mathfrak{v}, t)$ die Wahrscheinlichkeitsdichte ist (s. a. Gradsche Lösung der Boltzmann-Gleichung). P_{ij} ist eine der Transportgrößen, für deren Ort und Zeitabhängigkeit es im Falle der Gradschen Momentenmethode ein System partieller Differentialgleichungen gibt. Im Fall der *Enskogschen Methoden wird ein linearer Ansatz

$$P_{ij} = p\,\delta_{ij} - 2\,\eta\,S_{ij} - \varkappa \left(\frac{\partial}{\partial \mathfrak{r}} \cdot \mathfrak{v}_0\right) \delta_{ij}$$

eingeführt. Darin ist δ_{ij} der Kronecker-Tensor, p der hydrostatische Druck im Gleichgewicht, $\mathfrak{v}_0$ die mittlere Massengeschwindigkeit und S_{ij} der Spannungstensor

$$S_{ij} = \frac{1}{2}\left[\frac{\partial v_{0j}}{\partial x_i} + \frac{\partial v_{0i}}{\partial x_j}\right] - \frac{1}{3}\,\delta_{ij}\left(\frac{\partial}{\partial \mathfrak{r}} \cdot \mathfrak{v}_0\right).$$

η ist der Viskositätskoeffizient (auch als dynamische Viskosität bekannt) und $\varkappa$ ist die Volumviskosität. Letztere wird von Bedeutung im Fall dichter Gase und Flüssigkeiten, sowie im Falle des Energieaustausches zwischen inneren Freiheitsgraden (Rotation, Schwingung, Elektronenanregung) und Translation. Werden die inneren Freiheitsgrade als „eingefroren" betrachtet, dann ist $\varkappa = 0$; im anderen Fall ist $\varkappa$ proportional zu den Relaxationszeiten τ_i der Freiheitsgrade i,

$$\varkappa = \frac{n\,k^2\,T}{{c_v}^2} \sum_i c_{v,i}\,\tau_i\,,$$

wobei n die Teilchendichte, k die Boltzmann-Konstante, c_v die spezifische Wärme pro Molekül, $c_{v,i}$ der Anteil des i-ten Freiheitsgrades an der spez. Wärme und τ_i die Relaxationszeit für den i-ten Freiheitsgrad ist.

Für die Viskosität η erhält man nach der Enskogschen Theorie im Falle eines einheitlichen Gases

$$\eta = \frac{5}{64\, Q(l;s)} (\pi\, m\, k\, T)^{1/2}$$

mit $s = l = 2$ und

$$Q(l;s) = \frac{1}{2(s+1)!\left[1 - \frac{1+(-1)^l}{1+l}\right]} \cdot \int_0^\infty \gamma^{2s+3}\, e^{-\gamma^2}\, q^{(l)}(g)\, d\gamma \; ; \quad \gamma^2 = \frac{\mu\, g^2}{2\, k\, T} \; ;$$

$$q^{(l)}(g) = 2\pi \int_0^\infty (1 - \cos^l \chi)\, b\, db \; ;$$

$$\chi(g,b) = \pi - 2\, b \int_{r_m}^\infty \frac{dr/r^2}{\sqrt{1 - \frac{b^2}{r^2} - \frac{\varphi(r)}{(1/2)\mu\, g^2}}}$$

ist. Darin bedeuten g die Relativgeschwindigkeit zwischen zwei Teilchen beim Stoß, b den Stoßparameter, $\varphi(r)$ die intermolekulare Wechselwirkung beim Stoß und $\mu = m_1\, m_2/m_1 + m_2$ die reduzierte Masse. Im Falle der einfachen kinetischen *Gastheorie ist Q einfach der mittlere Stoßquerschnitt, welcher experimentell ermittelt werden kann. Die Ausdrücke für η werden wesentlich komplizierter, wenn die Anregung innerer Freiheitsgrade betrachtet wird (C. S. W. Chang und G. E. Uhlenbeck). [4, 27]

engl.: viscosity *franz.: viscosité*

Lit.: S. Chapman and T. G. Cowling, Mathematical Theory of Non-uniform Gases, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1952. – J. O. Hirschfelder, C. F. Curtiss and R. B. Bird, Molecular Theory of Gases and Liquids, Wiley, New York, 1954. – C. S. W. Chang and G. E. Uhlenbeck, Transport Phenomena in Polyatomic Molecules, Report CM-681, University of Michigan, Ann. Arbor, Mich., (1951).

Volatilitätsverfahren sind Brennstoffaufbereitungsprozesse, bei denen man die Kernbrennstoffe vom Plutonium und den Spaltprodukten mittels Destillationsverfahren voneinander trennt; dieses geschieht entweder durch direkte fraktionierte Destillation der Metalle oder ihrer Halogensalze. [22]
engl.: volatility processes
franz.: distillation fractionnée
Lit.: Symposium on the Reprocessing of Irradiated Fuels, Brüssel, Mai 1957, TID-7534.

Vollast(leistung), im Dauerbetrieb zulässige maximale Durchschnittsleistung eines Reaktors. Die V. ist streng zu trennen a) von der *Abschaltleistung, b) von der physikalischen *Grenzleistung.
Von a) trennt sie der Toleranzabstand zur Aufnahme der unvermeidlichen statistischen Schwankungen während des Betriebes (*Leistungsrauschen) und eventueller Eichfaktoränderungen zwischen den Meßwerten für die Abschaltung und für die Regelung. Bei b) kommt noch ein weiterer Toleranzabstand hinzu, der sich wiederum zum Teil aus Eichfaktoränderungen (hier vorwiegend physikalischer Art) und zum größeren Teil aus dem nötigen Abstand für kleinere Leistungs- und Temperaturüberschläge während der Abschaltverzögerung ergibt. Der gesamte Toleranzabstand zwischen der V. und der Grenzleistung beträgt deshalb in der Praxis etwa 10 bis 50 % der V. [9]
engl.: full power

Vollschutzröhrenhaube, s. Röhrenschutzgehäuse.

Volumen, kritisches, s. Dosis, Abschnitt Organdosis.
engl.: critical volume
franz.: volume critique

Volumen, strahlenempfindliches, s. Trefferbereich.

Volumendosis, Produkt aus durchstrahltem Volumen und mittlerer Dosis. [28]
engl.: volume dose
franz.: dose-volume

Vorlauf bei Abschaltmechanismen, nach einem Schnellschluß notwendige Maßnahme zum erneuten Herstellen des mechanischen Kontakts zwischen dem Transportmechanismus eines Abschaltorgans und dem Abschaltorgan selbst. Der V. bedingt u. U. eine erheb-

liche Vergrößerung der gesamten *Rückholzeit nach einem Schnellschluß und sollte deshalb im Hinblick auf evtl. Vergiftungsüberschläge u. dgl. so schnell wie irgend möglich erfolgen. Die dann aus Sicherheitsgründen erforderliche Trennung in besondere Antriebe für den V. und die anschließende Startbewegung ist aus Platzmangel jedoch häufig nicht durchführbar. Infolgedessen erfolgt der V. in den meisten Fällen mit etwa der gleichen Geschwindigkeit wie die *Trimmung. Ein merklicher Vorteil ergibt sich hier bei drehenden Antrieben mit Drehkupplungen als *Abschaltkupplungen, wodurch der Zeitverlust für den V. ganz entfällt. [9]
engl.: reloading run
franz.: récupération après déclenchement

Vorlaufzeit, Zeitbedarf bei *Schnellabschaltorganen zur Wiederherstellung der Verbindung zwischen Absorberteil und Transportmechanismus (s. a. Abschaltorgane und Trimmabschaltorgane). [9]
engl.: reloading time
franz.: temps de récupération

Vorwärmer. In einem Dampfturbinenkreisprozeß kann das vom Kondensator kommende Speisewasser über einen oder mehrere sog. V. dem Kessel oder Wärmeaustauscher zugeführt werden. Zur Vorwärmung benützt man dabei meist Dampf, der an verschiedenen Druckstufen der Dampfturbine abgezapft wird. Auf diese Weise läßt sich der thermische *Wirkungsgrad verbessern. Theoretisch ließe sich der Wirkungsgrad η_{th} durch Verwendung von genügend vielen V.n dem idealen Carnotschen Wirkungsgrad beliebig nahe bringen, praktisch bietet jedoch die Verwendung von mehr als vier V.n nur noch eine leichte Verbesserung von η_{th} und ist daher unwirtschaftlich. Durch das Abzapfen von Dampf wird die Durchsatzmenge in den Niederdruckstufen der Turbine reduziert, wodurch sich Vorteile für die Konstruktion ergeben. [5]
engl.: pre-heater *franz.: préchauffeur*

Vorwärtsreaktion, Reaktion, die die Wasserzersetzung vorwärts treibt, s. Molekularreaktion. [18]
engl.: forward reaction
franz.: réaction en avant

W

Wachstum von Uranstäben im Reaktor, *Strahlenschaden, der sich in einer Verlängerung eines Uranstabes auswirkt. Ein Wachstum tritt nur auf, wenn bestimmte *Texturen im Uran vorhanden sind, vgl. Uran. [20]

engl.: growth

franz.: allongement des barres

Lit.: Versch. Beiträge in: Peaceful Uses of Atomic Energy, Bd. 7, S. 433 ff, Genf, 1955.

Wahrscheinlichkeit, mathematische und thermodynamische. In der mathematischen Wahrscheinlichkeitsrechnung wird als W. für das Eintreten eines Ereignisses der Quotient aus der Zahl der für dieses Ereignis günstigen Fälle und der Zahl aller möglichen Fälle definiert. Diese mathematische W. ist also stets $\leqq 1$. In der Thermodynamik hat sich diese Definition als unzweckmäßig erwiesen. Man bezeichnet dort als (thermodynamische) W. die Zahl der günstigen Fälle, dividiert also nicht durch die Zahl aller möglichen Fälle. Die thermodynamische W. ist daher stets eine sehr große Zahl.

Der Wahrscheinlichkeitsbegriff in der modernen Wahrscheinlichkeitstheorie, begründet von A. N. Kolmogoroff, ist zusammen mit weiteren Prinzipien der mathematischen Statistik eine der wesentlichsten Grundlagen der modernen kinetischen *Gastheorie.

Gegenstand wahrscheinlichkeitstheoretischer Untersuchungen ist eine abzählbare oder nicht abzählbare Menge $\mathfrak{M}$ von Ereignissen $E_1, E_2 \ldots$ Als Beispiel sei der Bewegungszustand eines Moleküls genannt, der zur Zeit t durch die sieben Koordinaten

$$x, y, z; \dot{x}, \dot{y}, \dot{z}; t = \mathfrak{x}, \mathfrak{v}, t$$

dargestellt ist. Ein Ereignis E bedeutet hier, daß jede Koordinate einen bestimmten Wert hat. Das Ereignis E ist also durch einen Punkt des R_7 dargestellt. Die Menge aller möglichen Ereignisse ist die Menge aller Punkte des R_7. In der Praxis liegen die Orts- und Zeitkoordinaten immer in einem endlichen Intervall. Die Menge aller möglichen Ereignisse ist dann ein Intervall

$\mathfrak{M}$ des R_7. Ein Intervall des R_7 ist durch die Ungleichungen

$$x_1 < x \leq x_2, \ldots, t_1 < t \leq t_2$$

definiert. Dieses Intervall ist links offen und rechts geschlossen. Das hat den Vorteil, daß bei zwei aneinander grenzenden Intervallen die Punkte der Berührungsfläche nur einem Intervall angehören. Ein Intervall hat quaderförmige Gestalt. Kugelförmige und andere Bereiche kann man durch abzählbare Vereinigung von Intervallen erhalten.

Es werden gewisse Teilmengen $\mathfrak{M}_1, \mathfrak{M}_2, \ldots$ von $\mathfrak{M}$ in die Betrachtung einbezogen. $\mathfrak{M}$ selbst gehört zur Menge $\mathfrak{F}$ dieser Teilmengen, ebenso alle E_i. $\mathfrak{F}$ ist per definitionem ein Mengenkörper, d. h. mit zwei Mengen gehört auch deren Durchschnitt, Komplement und Vereinigung zu $\mathfrak{F}$. Sogar die Vereinigung abzählbar vieler Mengen aus $\mathfrak{F}$ soll wieder zu $\mathfrak{F}$ gehören, d. h. $\mathfrak{F}$ sei ein σ-Körper. In bezug auf das oben genannte Beispiel seien die $\mathfrak{M}_1, \mathfrak{M}_2, \ldots$ Teilintervalle von $\mathfrak{M}$. Durch die Operationen Durchschnitt, Komplement und Vereinigung lassen sich irgendwelche beliebig geformte Teile von $\mathfrak{M}$ bilden, welche von diesen Betrachtungen mit erfaßt werden.

A x i o m : Jeder zulässigen Menge $\mathfrak{M}_i$ ist eine positive Zahl $P(\mathfrak{M}_i)$ zugeordnet, welche die W. von $\mathfrak{M}_i$ heißt.

$P(\mathfrak{M}_i) = P(x_j < x \leq x_k, \ldots, t_j < t \leq t_k)$ ist die W.

dafür, daß die Koordinaten des betrachteten Moleküls in den angegebenen Intervallen liegen.

Die Existenz einer W. wird also per axiomem festgestellt, d. h. sie ist eines Beweises weder fähig noch bedürftig. Über die Größe von P wird keine Aussage gemacht, ebensowenig wie über ein Verfahren zur Bestimmung von P; auch nicht über eine anschauliche Bedeutung.

A x i o m : a) $\mathfrak{M}$ hat die W. 1 (mathematische W.)
b) $\mathfrak{M}$ hat die W. N (physikalische W.)

a) besagt, daß die W., daß sich ein Molekül im Intervall $\mathfrak{M}$ befindet, 1 ist. b) besagt, daß sich N Moleküle in $\mathfrak{M}$ befinden. $P(\mathfrak{M}_i)$ stellt nicht die Anzahl der

Moleküle dar, welche sich bei einer Momentaufnahme, bei einer physikalischen Messung in $\mathfrak{M}_i$ befinden, sondern die wahrscheinliche Anzahl, d.h. eine Zahl, welche ein ungefähres Maß dafür darstellt, wie viele Moleküle in $\mathfrak{M}_i$ zu erwarten sind.
Für einander ausschließende Ereignismengen $\mathfrak{M}_1$ und $\mathfrak{M}_2$ gilt

$$P(\mathfrak{M}_1 + \mathfrak{M}_2) = P(\mathfrak{M}_1) + P(\mathfrak{M}_2) .$$

Für punktfremde Teilintervalle von $\mathfrak{M}$ gilt, daß die W., daß sich ein Molekül in einem von beiden Intervallen befindet, gleich der Summe der W.n für die einzelnen Intervalle ist. Für die physikalische W. ist dies trivial. Die wahrscheinliche Anzahl aller Moleküle in einzelnen Intervallen ist gleich der Summe der wahrscheinlichen Anzahl der Moleküle in einzelnen Intervallen. Das gilt jedoch nur für einander ausschließende Ereignisse, d. h. für punktfremde Intervalle, anderenfalls würden manche Moleküle doppelt gezählt.
Aus dem oben gesagten läßt sich schließen, daß

$$\text{a)}\ 0 \leq P \leq 1$$
$$\text{b)}\ 0 \leq P \leq N .$$

In diesem Bereich ist P allerdings zunächst völlig unbestimmt. (In diesem Zusammenhang siehe ferner: Verteilungsfunktion, Wahrscheinlichkeitsdichte, Zufallsvariable). [7, 27]

engl.: mathematical probability,
thermodynamic probability
franz.: probabilité mathématique,
probabilité thermodynamique

Lit.: A. N. Kolmogoroff, Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitsrechnung, Springer, Berlin, 1935. – A. N. Kolmogoroff, Foundations of the Theory of Probability, Chelsea Publications, New York, 1950. – H. Cramer, Mathematical Methods of Statistics, Princeton Univ. Press, Princeton, 1956.

Wahrscheinlichkeitsdichte. Einen Vorgang bzw. ein Geschehen quantitativ zu erfassen bedeutet, Zahlenwerte für eine Anzahl von Parametern $\alpha, \beta, \gamma, \ldots$ im Zusammenhang mit bestimmten Ereignissen E_1, E_2, für jedes dieser Ereignisse anzugeben. Diese Parameter sind durch Beobachtung zu ermitteln und als maßgebend auszuwählen.
Liegt ein Kollektiv (Anzahl N gleichwertiger Beschrei-

bungen von vergleichbaren Vorgängen) vor, so kann jede der Beschreibungen durch einen Punkt in einem n-dimensionalen Darstellungsraum mit n Parametern $\alpha, \beta, \gamma, \ldots$ festgelegt werden. Die Verteilung dieser N Punkte ist dann eine vollständige Darstellung des gesamten Erfassungsmaterials und läßt sich, wenn eine hinreichende Menge von Punkten bekannt ist, durch eine Dichtefunktion, die W. $f(\alpha, \beta, \gamma, \ldots)$, ausdrücken. Rein formal ist die W. f durch die Ableitung der *Verteilungsfunktion F gegeben,

$$f(\alpha, \beta, \gamma, \ldots) = \frac{\partial^n F(\alpha, \beta, \gamma, \ldots)}{\partial\alpha\, \partial\beta\, \partial\gamma \ldots}.$$

(S. a. Wahrscheinlichkeit.) [27]
engl. probability density (density function)
franz.: densité de la probabilité

Walzen. Verfahren der spanlosen Formgebung zur Herstellung von Blechen, Stangen, Profilen oder Drähten durch Querschnittverminderung des Materials beim Durchgang zwischen zwei W., deren Abstand schrittweise verringert wird. Das W. wird je nach den Verformungseigenschaften des Werkstoffes als Kalt- oder als Warmverformungsverfahren durchgeführt. [4]
engl.: rolling
franz.: laminage

Wanderfläche, Quadrat der *Wanderlänge.
engl.: migration area
franz.: aire de migration

Wanderlänge. Die W. M ist definiert durch die Gleichung

$$M^2 = L^2 + \tau,$$

wenn man die F e r m i sche Alterstheorie zugrunde legt, oder durch

$$M^2 = L_1^2 + L_2^2 + L_3^2 + \ldots,$$

wenn man eine Mehrgruppendiffusionstheorie zugrunde legt. Dabei sind L die thermische Diffusionslänge und $\sqrt{\tau}$ die *Bremslänge bzw. $L_1, L_2, L_3 \ldots$ die Diffusionslängen im 1., 2., 3 ... Energieintervall der *Gruppendiffusionstheorie. M^2 nennt man die W a n d e r f l ä c h e. Die physikalische Bedeutung von M ist aus

$$\overline{r^2} = 6\, M^2$$

zu entnehmen. $\overline{r^2}$ ist das mittlere Quadrat derjenigen geradlinigen Strecke, die zwischen dem Entstehungsort eines Neutrons – etwa einer Spaltung – und dem Ort seiner Absorption liegt. Randeffekte sind nicht berücksichtigt. Die W. ist ein wichtiger Begriff in der Theorie der Neutronendiffusion. [7]
engl.: migration length
franz.: longueur de migration, parcours de migration
Lit.: s. Reaktortheorie.

Wantage, Standort der neuen Forschungs- und Entwicklungsabteilung des Atomforschungsinstitutes *Harwell der britischen Atomenergiebehörde (UKAEA) für die industrielle Anwendung starker radioaktiver Strahlenquellen (Technical Irradiation Group). [24]

Wärmeaustausch, s. Wärmeübertragung.
engl.: heat exchange *franz.: échange de chaleur*

Wärmebehandlung. Glühungen, vielfach mit bestimmten Abkühlungs- und Erhitzungsbedingungen, zur Beeinflussung des Aufbaues und der Eigenschaften von Metallen und Legierungen.
W. von Uranmetall. Texturen im metallischen Uran, die hauptsächlich durch Walzen oder andere Verformungsmethoden ins Material gelangen, können zu Längenänderungen des Brennstoffelementes während des Reaktorbetriebes führen (*Wachstum). Durch bestimmte Wärmebehandlungen, die ein Abschrecken aus der β- oder γ-Phase einschließen, erreicht man ein texturfreies Feinkorngefüge, das im Reaktor keine nennenswerte Gestaltänderung erfährt. [4, 20]
engl.: heat treatment *franz.: traitement thermique*

Wärmebewegung. a) Unter W. versteht man diejenige ungeordnete Bewegung mikroskopischer Bausteine der Materie (Moleküle, Atome, Elementarteilchen), die sich makroskopisch im Wärmeinhalt eines Stoffes ausdrückt. In den meisten Fällen kann die kinetische Energie der W. mit Hilfe des *Gleichverteilungssatzes berechnet werden. Innerhalb gewisser Grenzen kann die W. sichtbar werden.
b) W. im Sinne von Wärmetransport und Wärmeübertragung, s. u. Wärmeübertragung. [7]
engl.: thermal motion *franz.: agitation thermique*

Wärmebilanz

Wärmebilanz. Gemäß dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik entspricht der Wärmeleistung eines Reaktors die Summe aus den zeitlich abgeführten und verlorenen Wärmemengen und der elektrischen Leistung. Eine diesbezügliche Aufstellung wird als W. bezeichnet. Ferner müssen auch bei Wärmeübergangsversuchen die gemessenen zu- und abgeführten Wärmemengen gleich sein. [8]
engl.: heat balance *franz.: bilan calorifique*

Wärmedurchgangszahl, s. Nachtrag.

Wärmeerzeugung in Reaktoren. Die bei der Kernspaltung frei werdende Energie erscheint im wesentlichen als kinetische Energie der Spaltprodukte, der Spaltneutronen, der β-Teilchen und als γ-Strahlung. Die bei einer einzelnen Spaltung frei werdende Energie beträgt etwa

$$E = 191 + E_c \,\mathrm{MeV}\,,$$

wobei E_c der aus dem Einfang von Neutronen in nichtspaltbaren Stoffen (Moderator, Kühlmittel, Strukturmaterial usw.) resultierende Anteil ist. Da die Bindungsenergien zwischen 2 MeV und 8 MeV schwanken, ist E_c etwas von den im Inneren des Reaktors verwendeten Materialien abhängig (für einen Graphit-Uranreaktor vom Typ X-10 ist $E_c \approx 7{,}5$ MeV und für einen Wasserbeckenreaktor ist $E_c \approx 2{,}5$ MeV). Bei technischen Rechnungen betrachtet man jedoch meist die je Spaltung freiwerdende Energie E als eine Konstante; ein gebräuchlicher Wert ist

$$E = 198 \,\mathrm{MeV} = 7{,}52 \cdot 10^{-15} \,\mathrm{Kcal}\,.$$

Dieser läßt sich aufteilen in

	MeV	%
kinetische Energie der Spaltprodukte	162	82
kinetische Energie der Neutronen	5	2,5
γ-Strahlung bei der Spaltung	5*)	2,5
γ-Strahlung beim Neutroneneinfang	15	7,5
β-Zerfallsenergie	5	2,5
γ-Zerfallsenergie	6	3
Gesamte freiwerdende Energie	198	100

*) nach neueren Ergebnissen 8 MeV

Die Spaltprodukte werden in einem Umkreis von etwa 0,01 mm abgebremst und bilden so eine fast punktförmige Wärmequelle. Die β-Teilchen können einen etwas längeren Weg zurücklegen, bis sie ihre kinetische Energie abgegeben haben (bei hoher Energie bis zu etwa 4 mm in Aluminium). Sie können daher z. T. den Überzug eines Brennstoffstabes durchqueren, bleiben aber stets innerhalb des Reaktors. Die schnellen Spaltneutronen verlieren die meiste Energie in den ersten Zusammenstößen mit den Moderatorneutronen; die Strecke, die sie dabei zurücklegen, hängt von der Art des Moderators ab. Die Vorgänge, bei denen γ-Strahlen ihre Energie verlieren und damit Wärme erzeugen, sind etwas kompliziert. Sie erzeugen im ganzen Reaktor eine Wärmequellenverteilung, die sich nur berechnen läßt, wenn der Aufbau des Reaktors, die Verteilung der verschiedenen γ-Quellen und das Energiespektrum der γ-Strahlen bekannt ist.

Zur Umwandlung der Spaltenergie in Wärme ist eine gewisse Zeit erforderlich. Diese beträgt für den größten Teil, nämlich für die kinetische Energie der Spaltprodukte nur einige µs. Die Umwandlungszeit für die Energie, die beim β- und γ-Zerfall frei wird, erstreckt sich jedoch über längere Zeiträume. Praktisch nähert sich jedoch nach dem Anfahren eines Reaktors die Wärmequellverteilung schon nach kurzer Zeit einem stationären Zustand. Nach dem Abschalten eines Reaktors muß jedoch die durch den Zerfall der Spaltprodukte erzeugte „Nachwärme" abgeführt werden, um ein übermäßiges Aufheizen der Strukturelemente des Reaktors zu vermeiden. Eine Stunde nach dem Abfahren ist die Wärmeerzeugung in den Brennstoffelementen ungefähr 1 % und im Reflektor einschließlich thermischem Schild etwa 10 % der bei stationärem Betrieb erzeugten Wärme. Dieser Unterschied ist auf die Absorption der γ-Strahlen zurückzuführen. [5]

engl.: heat generation

franz.: production de chaleur

Lit.: C. F. Bonilla, Nuclear Engineering, McGraw-Hill, New York, 1957.

Wärmefluß, besser **Wärmestrom,** nennt man einen Vektor, der durch seine Richtung die Richtung der strö-

menden Wärme und durch seinen Betrag die Intensität der Wärmeströmung angibt. Diese wird durch die Wärmemenge gemessen, die durch ein Flächenstück von der Größe Eins, das senkrecht zur Strömungsrichtung steht, in der Zeiteinheit hindurchströmt. [5]
engl.: heat flux
franz.: flux de chaleur

Wärmeleistung, s. Reaktorwärmeleistung und Leistungsdichte.
engl.: heat output
franz.: puissance thermique

Wärmeleitfähigkeit. Der Wärmefluß $\mathfrak{q}$ ist sehr genau proportional zur ersten Potenz des Temperaturgradienten grad ϑ und strömt in homogenen, isotropen Körpern stets in der Richtung des Temperaturgefälles. Es gilt daher die Vektorgleichung

$$\mathfrak{q} = -\lambda \operatorname{grad} \vartheta ,$$

der dabei auftretende Proportionalitätsfaktor λ wird Wärmeleitfähigkeit genannt. Ihre Dimension ist im technischen Schrifttum Kcal/mh °C; im physikalischen cal/cm s °C. [5]
engl.: heat conductivity
franz.: conductibilité calorifique

Wärmeleitfähigkeit im vollionisierten Plasma. Bei Anwesenheit eines schwachen elektrischen Feldes $\mathfrak{E}$ und einem kleinen Temperaturgradienten ∇T ist der Wärmestrom $\mathfrak{Q}$ in einem Plasma ohne äußeres Magnetfeld

$$\mathfrak{Q} = -\beta\, \mathfrak{E} - K \nabla T ,$$

wobei der Proportionalitätskoeffizient K als Wärmeleitfähigkeit bezeichnet wird. Für ein vollionisiertes Plasma fanden Spitzer und Mitarbeiter durch Lösung der *Maxwell-Boltzmann-Gleichung (s. a. Leitfähigkeit, elektrische, im Plasma) die Beziehung

$$K = \frac{5\,k}{2} \cdot \frac{2\,(2\,k\,T)^{5/2}}{\pi^{3/2}\, m_e^{1/2}\, e^4\, Z \ln (q\, C^2)} \cdot 2\,\delta_T ,$$

wobei $q\,C^2 = 6\,(k\,T/2)^2/\pi^{1/2}\, p^{1/2}\, e^3$, T die absolute Temperatur, k die Boltzmann-Konstante, m_e die Elektronenmasse, e die Elementarladung, Z die Ionenladungszahl und p der Gesamtdruck des Plasmas ist.

Wenn ein stationärer Temperaturgradient vorhanden ist, aber kein stationärer elektrischer Strom fließt, wird das elektrostatische Feld derart aufgebaut, daß der Strom verschwindet. Dieses Feld reduziert den Wärmestrom, so daß die effektive Wärmeleitfähigkeit

Wärmeleitfähigkeit im vollionisierten Plasma

$$K' = \varepsilon K$$

wird. ε und δ_T sind in nachstehender Tabelle angegeben.

Ionenladungszahl	Z = 1	Z = 2	Z = 4	Z = 16	Z = ∞
δ_T	0,2252	0,3563	0,5133	0,7907	1,000
ε	0,4189	0,4100	0,4007	0,3959	0,4000

Bei Anwesenheit eines Magnetfeldes $\mathfrak{B}$ wird der Wärmestrom nach Chapman und Cowling

$$\mathfrak{Q} = -\frac{1}{1+\omega^2\tau^2}\left[K \nabla T - \frac{\omega\tau}{B}\mathfrak{B} \times \nabla T\right],$$

wobei

$$\omega = \omega_{ce} \cdot c\left(Z\frac{m_e \varrho_e}{m_i \varrho} - \frac{\varrho_i}{\varrho}\right);$$

$$\tau = m_e m_i \frac{n}{\varrho k T} D_{ei},$$

ist. $\omega_{ce} = (e B/m_e c)$ ist die *Zyklotronfrequenz der Elektronen, c die Lichtgeschwindigkeit, ϱ die Gesamtmassendichte, n die Gesamtteilchendichte, ϱ_e und q_i die Massendichten der Elektronen und Ionen, D_{ei} der Diffusionskoeffizient der Elektronen gegenüber den Ionen (alle anderen Bezeichnungen wie oben). Man hat näherungsweise

$$\tau = \frac{3 m_e m_i (m_e + m_i)^{1/2} (k T)^{3/2}}{16 (2\pi)^{1/2} \varrho e^4 Z \ln(q C^2)},$$

wenn man den sich aus der Spitzerschen Wärmeleitfähigkeit errechnenden Diffusionskoeffizienten verwendet.

Die Wirkung eines Magnetfeldes auf den Wärmestrom besteht somit darin, den Strom in Richtung des Temperaturgradienten im Verhältnis $1/(1+\omega^2\tau^2)$ zu reduzieren und zusätzlich einen transversalen Strom (in Richtung $\mathfrak{B} \times \nabla T$) zu erzeugen, der $\omega\tau$-mal so groß

ist wie der direkte Strom. Wärmeleitfähigkeitskoeffizienten im Plasma s. u. Transporterscheinungen im Plasma. [27]

engl.: thermal conductivity in a fully ionized plasma
franz.: conductibilité thermique d'un plasma totalement ionisé

Lit.: R. S. Cohen, L. Spitzer Jr. and P. Mc R. Routly, Phys. Rev. 80, 230 (1950). – L. Spitzer Jr. and R. Härm, Phys. Rev. 89, 977 (1953). – S. Chapman and T. G. Cowling, Mathematical Theory of Non-uniform Gases, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1952.

Wärmeleitfähigkeitsmethode zur Bestimmung des Mischungsverhältnisses von Isotopen. Die Wärmeleitfähigkeit eines Gases ist eine Funktion der spezifischen Wärme, die für Isotope einen verschiedenen Wert und Temperaturverlauf aufweist. Die Methode beruht auf der Messung des Widerstandes eines dünnen Platindrahtes, der in einer Meßzelle ausgespannt ist und durch einen elektrischen Strom geheizt wird; wenn die Außenwand der Meßzelle auf konstanter Temperatur gehalten wird, ist die Temperatur des Meßdrahtes von der Wärmeleitfähigkeit des Gases in der Meßzelle abhängig. Die durch die verschiedene Temperatur, die sich bei Füllung mit isotopen Gemischen einstellt, verursachte Widerstandsänderung wird in einer Wheatstoneschen Brücke gemessen. [14]

engl.: heat conductivity method
franz.: méthode de la conductibilité calorique

Wärmeleitung. Die analytische Theorie der W. läßt den molekularen Aufbau der Materie außer Betracht und stützt sich auf die durch den Versuch ermittelte Grundgleichung der Wärmeleitung

$$\mathfrak{q} = -\lambda \operatorname{grad} \vartheta \,,$$

worin $\mathfrak{q}$ der *Wärmefluß, λ die *Wärmeleitfähigkeit und ϑ die Temperatur ist. Stellt man für ein Volumelement dV eine Energiebilanz auf, in der man die in dem Element in der Zeit dt erzeugte Wärmemenge $W\, dV\, dt$ (z. B. die durch Kernspaltung freiwerdende Energie) gleich der im Raum dV in der Zeit dt aufgespeicherten Wärmemenge $c\,\varrho\,(\partial\vartheta)/(\partial t)\, dV\, dt$ plus der Wärmemenge

$$-\int\limits_{0} \lambda \operatorname{grad}_n \vartheta \, df\, dt = -\operatorname{div} \lambda \operatorname{grad} \vartheta \, dV\, dt \,,$$

die den Raum dV in der Zeit dt verläßt, setzt, so erhält man die Fouriersche Differentialgleichung der W.

Wärmequellendichte

$$c\varrho\frac{\partial\vartheta}{\partial t} = \operatorname{div}\lambda\operatorname{grad}\vartheta + W$$

für homogene, isotrope Körper. Diese läßt sich in der Form

$$\frac{\partial\vartheta}{\partial t} = \frac{\lambda}{c\varrho}\Delta\vartheta + \frac{W}{c\varrho}$$

schreiben, wenn die Wärmeleitfähigkeit λ nicht von der Temperatur ϑ abhängig ist. Dabei kann die in der Zeiteinheit je Volumeinheit erzeugte Wärmemenge W eine beliebige Funktion des Ortes und der Zeit sein. Mit dieser Gleichung läßt sich die Temperaturverteilung in einem Körper zu einer beliebigen Zeit t bestimmen, falls zur Zeit $t = 0$ die Temperaturverteilung bekannt ist und für die Oberfläche des Körpers gewisse Randwerte angegeben werden können.
Drei verschiedene Arten von Randwertvorschriften sind von Bedeutung:

a) Angabe der Temperatur auf der ganzen Oberfläche des Körpers als Funktion des Ortes und der Zeit;
b) Angabe des Wärmeflusses durch die Oberfläche, ebenfalls als Funktion des Ortes und der Zeit;
c) Angabe der Umgebungstemperatur und eines Gesetzes für den Wärmeaustausch zwischen der Oberfläche des Körpers und seiner Umgebung.

Für die Fouriersche Differentialgleichung der Wärmeübertragung, deren mathematischer Aufbau vollkommen mit der *Diffusionsgleichung übereinstimmt, wurden zahlreiche analytische, numerische und graphische Lösungsmethoden entwickelt. [5]

engl.: heat conduction

franz.: conduction de chaleur

Lit.: P. J. Schneider, Conduction Heat Transfer, Adison-Wesley, 1955.

Wärmeleitungsgleichung, s. Wärmeleitung.

Wärmequellendichte, die in der Zeiteinheit und Raumeinheit durch Umwandlung von anderen Energiearten erzeugte Wärmemenge. Ihre Dimension ist in technischen Einheiten Kcal/m³h oder Watt/cm³. In

Wärmequellenspitzen, örtliche

Brennstoffelementen ist sie näherungsweise gleich der Leistungsdichte $P = \Sigma_f \Phi / c$, wobei Σ_f der Spaltquerschnitt, Φ der Neutronenfluß und $c = 3{,}1 \cdot 10^{10}$ Spaltungen je Wattsekunde ist, da der größte Teil der Spaltenergie fast örtlich in Wärme umgewandelt wird (s. Wärmeerzeugung in Reaktoren). [5]
engl.: heat source density
franz.: densité des sources de chaleur

Wärmequellenspitzen, örtliche, s. gefährdeter *Kühlkanal.
engl.: heat peaks *franz.: points chauds*

Wärmequellenverteilung im Reaktor. Bei jeder Kernspaltung entsteht im Reaktor eine nutzbare Wärmemenge von $E \approx 191 + E_e$ MeV. Die Energie E_e wird bei Neutronen-Einfangprozessen, die der Spaltung folgen, frei und liegt je nach Reaktortyp zwischen 2 und 10 MeV (*Energie pro Spaltung). Die Energie E wird im allgemeinen nicht unmittelbar am Ort der Spaltung frei, sondern in Entfernungen, für welche die mittlere Reichweite der bei der Spaltung ausgestoßenen Teilchen maßgebend ist (Spaltprodukte in Metall ca. 0,01 mm, Betastrahlen etwa 4 mm, Neutronen im Moderator 3 cm bis 1,5 m). In der Tabelle 1 ist E nach den Reichweiten aufgegliedert (die nicht faßbaren Neutrinos sind nicht angeführt).

Tabelle 1

	Reichweite			Summe
	kurz	mittel	lang	
prompt:				
Kin. En. der Spaltprodukte	168			168
Kin. En. der Spaltneutronen		5		5
Gammastrahlung			5–8	5
verzögert:				
Betastrahlung	7			7
Gammastrahlung			6	6
Einfangreaktionen (n, γ):			E_e	E_e
Summe	175	5	$11 + E_e$	$191 + E_e$

Wärmequellenverteilung im Reaktor

a) Wärmeerzeugung in den Brennstoffelementen. Wie man aus dieser Tabelle ersieht, wird der Hauptteil der Wärme von den Teilchen mit kurzer Reichweite in den Brennstoffelementen erzeugt. Wegen des hohen Atomgewichts des Brennstoffs geben zwar die Neutronen praktisch keine Energie an die Elemente ab, wohl aber die prompte, verzögerte und die Einfang-Gammastrahlung. In erster Näherung kann man annehmen, daß etwa 1/3 der Wärmeproduktion mit großer Reichweite in den Elementen erfolgt, so daß $E_{\mathrm{Br}} \approx 178{,}7 + E_e/3$ (MeV/Sp.).
Rund 90 % der insgesamt erzeugten Wärme wird also in den Brennstoffelementen frei. In guter Näherung kann man annehmen, daß die Leistungsdichte p (Watt cm^{-3}) proportional zu $\Sigma_f \Phi$ ist, wobei Σ_f den makroskopischen Spaltquerschnitt und Φ den Neutronenfluß bedeuten (s. Reaktorleistung).
b) Wärmeerzeugung in Moderator und Reflektor. Hier sind vor allem die Bremsung von Spaltneutronen und die Absorption von Gammastrahlen maßgebend. Wenn man als grobe Abschätzung annimmt, daß etwa die Hälfte der Wärmeproduktion mit großer Reichweite in Moderator und Reflektor erfolgt, hat man $E_{\mathrm{MR}} \approx 10{,}5 + E_e/2$ (MeV/Sp), das sind rund 7 bis 9 % der Reaktorleistung. Die W. hängt von der Moderatorsubstanz ab. Bei kleinen Transportweglängen (H_2O) wird sie ungefähr dem Fluß Φ proportional sein, bei großen Transportweglängen (Graphit) wird sich eine mehr homogene Verteilung einstellen.
c) Wärmeerzeugung im Schild. Hier wird der Rest der weitreichenden Wärme freigesetzt, so daß

Tabelle 2

Reaktor	Wärmeerzeugung %			Schild
	Brennstoff	Moderator	Reflektor	
MTR	94,3	3,9	1,6	0,2
BNL	92	6	>1	<1
OMRE	91	5,5		3,5
SRE	91,5	7		1,5

mit $E_s \approx 1{,}8 + E_e/6$ (MeV/Sp) etwa 1 bis 3 % der Reaktorwärme im Schild entstehen. Zur Illustration bringt Tabelle 2 einige Angaben über die W. in verschiedenen Reaktortypen.

Zur genaueren Ermittlung der W. hat man vor allem die Wärmeerzeugung durch Gammastrahlung detaillierter zu untersuchen. Als Gammaquellen kommen in Frage: die prompte Strahlung mit etwa sieben Photonen zu je 1,1 MeV pro Spaltung und die verzögerte Strahlung mit etwa zwei Photonen zu 3 MeV pro Spaltung. Die räumliche Verteilung der Quellen ist ungefähr proportional zu $\Sigma_f \Phi$. Außerdem hat man die Einfangstrahlung zu berücksichtigen, die durch Neutroneneinfang in den verschiedenen Stoffen im Reaktor entsteht. Ihre Quellen für das Element i sind proportional zu $\Sigma_{a,i} \Phi$ verteilt. Nach der Ermittlung der Quellverteilung zerlegt man das Gammaspektrum zweckmäßig in Energiegruppen. Für jede von ihnen bestimmt man mit den Methoden der Schild-Berechnung die räumliche Verteilung der Absorptionsrate und damit der Wärmequellen. [13]

engl.: heat source distribution

franz.: distribution des sources de chaleur

Lit.: S. Glasstone, Principles of Nuclear Reactor Engineering, McMillan, London, 1956.

Wärmeschild, s. Schild, thermischer.

Wärmespannungen. In einem festen Körper entstehen bei einer Temperaturänderung immer dann W., wenn ein Volumelement in seiner Ausdehnung, die es im herausgeschnittenen Zustand durchmachen würde, gehindert wird. Das ist immer der Fall, wenn der Körper als Ganzes durch äußere Kräfte (z. B. Einspannungen) bei seiner Volum- oder Gestaltsänderung beeinflußt wird. Aber auch bei vollkommen frei gelagerten Körpern können bei ungleichförmigen Temperaturverteilungen W. auftreten. Solange die Verformung im elastischen Bereich bleibt, lassen sich die Spannungen mit den Methoden der Elastizitätstheorie berechnen. Man findet dabei, daß sich die W. häufig in der Form

$$\sigma = \frac{\beta E}{(1 - n\mu)\lambda} \cdot F(\mathfrak{r}, t)$$

schreiben lassen, wobei β die lineare Ausdehnungszahl, E der Elastizitätsmodul, $n = 0,1,2$ für einen 1-, 2-, 3-dimensionalen Verzerrungszustand, μ die Poissonsche Querzahl, λ die Wärmeleitfähigkeit und $F(\mathfrak{r}, t)$ im wesentlichen eine Funktion des Ortes und der Zeit ist. Vergleicht man die W. mit der Bruchspannung σ^*- indem man das Verhältnis

$$\frac{\sigma^*}{\sigma} = \frac{\lambda \, \sigma^* (1 - n \, \mu)}{\beta \, E} \cdot \frac{1}{F(\mathfrak{r}, t)}$$

bildet, so erkennt man, daß für Materialien, die denselben äußeren Bedingungen unterworfen sind, dieses Verhältnis im wesentlichen von dem Stoffwert $\lambda \, \sigma^* / \beta \, E$ abhängig ist, da alle festen Stoffe ungefähr dieselbe Querzahl μ besitzen. Je größer der Zahlenwert von $\lambda \, \sigma^* / \beta \, E$ ist, desto besser wird die Widerstandsfähigkeit des Materials gegen thermische Beanspruchungen sein. Einen Vorgang, bei dem die W. durch ein sich zeitlich schnell änderndes Temperaturfeld erzeugt werden, bezeichnet man als Wärmeschock (*engl.: thermal shock*). Hierbei können sehr hohe Temperaturdifferenzen und daher auch hohe Spannungen auftreten. Bei vielen Stoffen nimmt die Widerstandsfähigkeit gegen thermische Beanspruchung ab, wenn die W. sehr schnell aufgebaut werden. Wechselbeanspruchungen durch pulsierende Temperaturfelder (*engl.: thermal cycling*) können nach einer gewissen Anzahl von Perioden zu Brucherscheinungen führen. Gewisse Materialien (z. B. anisotropes Uran) wachsen bei thermischer Wechselbeanspruchung und können dabei ihre ursprüngliche Gestalt beträchtlich verändern. [5]

engl.: thermal stresses

franz.: tensions thermiques

Lit.: Melan u. Parkus, Wärmespannungen, Springer, Wien, 1953. – S. S. Mansion, Behavior of Materials under Conditions of Thermal Stress, Heat Transfer Symposium, University of Michigan, 1953.

Wärmestrahlung. Neben der *Wärmeleitung und *Konvektion gibt es noch eine dritte Art der Wärmeübertragung, die W. Die Wärmestrahlen sind elektromagnetische Wellen mit einer Wellenlänge von 0,8 μ bis 0,8 mm und folgen daher u. a. den Gesetzen der

geradlinigen Fortpflanzung und Reflexion. Bei den heute in Reaktoren üblichen Temperaturen besitzt die W. noch keine Bedeutung. [5]

engl.: thermal radiation

franz.: rayonnement thermique

Lit.: W. Wien u. F. Harms, Handbuch der Experimentalphysik, Bd. 9, Teil 1, Leipzig, 1929.

Wärmestrom, s. Wärmefluß

Wärmestromdichte, s. Heizflächenbelastung.

Wärmetauscher (oder Wärmeaustauscher) dienen der stofflichen Wärmeübertragung zwischen zwei oder mehr Stoffen verschiedener Temperatur. Meist ist es notwendig, die wärmeaufnehmenden und die wärmeabgebenden Stoffe voneinander streng getrennt zu halten, weil ihre Berührung zu unerwünschten chemischen Reaktionen (Explosion bei Berührung flüssigen Natriums mit Wasser!) oder zu Verunreinigungen oder zu sonst irgendwelchen Unzuträglichkeiten führen würde. Nur in relativ seltenen Fällen läßt man sie einander berühren (Trocknung). In der überwiegenden Zahl aller Fälle befindet sich jedoch zwischen den Stoffen eine feste Trennwand in Form von Rohren, Platten usw. Das gleiche gilt insofern auch bei der Wärmeabfuhr von festen Körpern (elektrische Heizdrähte, feste Spaltstoffelemente in heterogenen Reaktoren), als die Oberfläche dieser Körper eben die

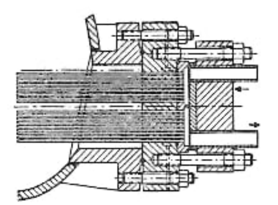


Abb. 1. Kopf eines Rohrbündelwärmetauschers

Trennwand zwischen Wärmeabgeber und Wärmeaufnehmer, also dem Kühlmittel, darstellt. Zur Berechnung der W. für einen gegebenen Zweck ist die Kenntnis der Wärmedurchgangszahl k (kcal/m^2 · h · grd), erforderlich, die der Kenntnis der Wärmeübergangszahlen α_i und α_a an den beiden Seiten der Trennwand

sowie deren Dicke s und ihrer Wärmeleitzahl λ bedarf:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_a} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_i}\,.$$

α ist dabei aus Nu (s. Wärmeübertragung) zu bestimmen. Die übertragbare Wärmemenge ergibt sich dann zu $Q = k \cdot F \cdot \Delta t$, wobei

$$\Delta t = \frac{\Delta t_a - \Delta t_e}{\ln \dfrac{\Delta t_a}{\Delta t_c}}\,,$$

der sogenannte logarithmische Mittelwert der Temperaturdifferenzen aus den Temperaturdifferenzen zwischen den beiden wärmeaustauschenden Stoffen am Eingang des Wärmeaustauschers mit Δt_e und am Ausgang mit Δt_a zu ermitteln ist. Die beiden Stoffe können auf verschiedene Weise geführt werden. Der sog. Gegenstrom ist die gebräuchlichste Form. Sie wird z. B. in einem Doppelrohr verwirklicht, indem der eine Stoff in das innere Rohr auf der einen Seite, der andere in den Ringspalt zwischen den beiden Rohren auf der entgegengesetzten Seite einströmt. Die Bauform von W. ist äußerst vielfältig je nach Verwendungszweck (Rohrbündel, Doppelrohr, Platten, Rip-

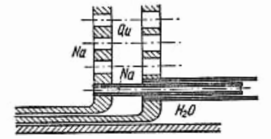


Abb. 2. Doppelrohrwärmetauscher mit Zwischenmedium

penrohre, Nadelrohre usw.). Für die Konstruktion ist die Wahl des Werkstoffes ausschlaggebend. Sie wird kaum durch die Wärmeleitung des Baustoffes, sondern wesentlich durch die Beanspruchung durch Korrosion, Druck und Temperatur bestimmt. Im Reaktorbetrieb kommt die Beachtung neutronenphysikalischer Gesichtspunkte hinzu (Neutronenabsorption, Bremsvermögen). Weiter ist von wesentlicher Bedeutung die Betriebssicherheit hinsichtlich der Gefahr von Un-

dichtigkeiten gegen die Umgebung und zwischen den wärmetauschenden Medien. In schwierigen Fällen (Na-Kühlung!) greift man zu Zwischenmedien (Hg), so daß Undichtheiten ungefährlich bleiben, aber doch erkannt werden können. Schließlich spielt der Druckverlust eine wesentliche Rolle, insbesondere bei der Wirtschaftlichkeit. Je kleiner die wärmeübertragende Fläche sein soll, desto höher muß α und damit die Strömungsgeschwindigkeit w (vgl. Wärmeübertragung) sein. Mit steigendem w steigt aber der Druckverlust Δp und damit die aufzuwendende Pumpleistung. Was an Wärmetauschfläche gespart wird, wird also u. U. wie-

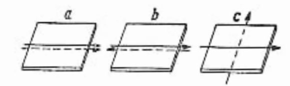


Abb. 3. Gleichstrom, Gegenstrom und Kreuzstrom schematisch

der durch die Pumpenanlage verzehrt. Daher wird man auf möglichst günstige Strömungsführung zu achten haben (Leitvorrichtungen, Vermeidung von Knickstellen usw). Es ist wichtig, W. miteinander bezüglich ihrer Güte vergleichen zu können. Eine Gütezahl läßt sich definieren als das Verhältnis der je Grad Temperaturunterschied übertragenen Wärmemenge zu der Pumparbeit. Mit der im Wärmemaß angegebenen Pumparbeit als Produkt aus dem geförderten Volumen V und dem Druckverlust Δp ergibt sich die Gütezahl $\varepsilon = (\alpha \cdot F)/(3600 \cdot V \cdot \Delta p)$ (grd^{-1}).

Auch ein Wirkungsgrad läßt sich angeben, wenn man die maximal übertragbare Wärmemenge Q_{max} bei unendlich großer Übertragungsfläche zu der tatsächlich bei endlicher Fläche übertragenen Wärmemenge Q in Verhältnis setzt: $\eta_{th}\ Q/Q_{max}$. [2]

engl.: heat exchanger

franz.: échangeur de chaleur

Lit.: Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, 3. Aufl., München-Berlin, 1951, Bd. 1: Chemischer Apparatebau und Verfahrenstechnik. – H. Hausen, Wärmeübertragung im Gegenstrom, Gleichstrom und Kreuzstrom, Berlin, 1950. – W. McAdams, Heat Transmission, 2. Aufl., New York, 1942. – H. Kühne, Die Grundlagen der Berechnung von Oberflächen-Wärmeaustauschern, Göttingen, 1949. – Gröber-Erk-Grigull, Die Grundgesetze der Wärmeübertragung, 3. Aufl., Berlin, 1955. – A. Schack, Der industrielle Wärmeübergang, 2. Aufl., Düsseldorf, 1940.

Wärmeübergang bei Verdampfung. Die Vorausberechnung von *Wärmeübergangszahlen ist bei Verdampfung weit ungenauer als bei reiner Flüssigkeitsströmung, und anstatt halbempirischen Formeln mit dimensionslosen Kennzahlen stehen nur Gleichungen mit beschränktem Gültigkeitsbereich zur Verfügung. In Reaktorsystemen sind folgende Arten der Verdampfung wesentlich: a) örtliches Sieden in unterkühlter Flüssigkeit *(local, surface* oder *subcooled boiling)*, b) Blasenverdampfung *(bulk boiling)*, c) Filmverdampfung *(film boiling)*.

Wärmeübergang bei Verdampfung

Die Verdampfungsform a) tritt auf, wenn die Flüssigkeitstemperatur ϑ_F unterhalb der Siedetemperatur ϑ_s und die Wandtemperatur ϑ_W oberhalb von ϑ_s liegt. Die Dampfblasen entstehen an der Heizfläche, kondensieren jedoch nach kurzer Lebensdauer wieder in der unterkühlten Flüssigkeit. Unter diesen Bedingungen können sehr hohe Wärmeübergangszahlen erreicht werden, da durch das ständige Abreißen der Blasen keine laminare Grenzschicht an der Heizfläche entstehen kann. Auf Grund von Versuchen mit elektrisch geheizten Rohren ermittelten L o t t e s und J e n s für erzwungene Strömung mit örtlichem Sieden die Beziehung

$$\vartheta_W - \vartheta_s = 60 \left(\frac{q}{10^6} \right)^{1/4} e^{-p/900} ,$$

dabei ist $\vartheta_W - \vartheta_s$ die Unterkühlung in °F, p der Druck in psia und q die Heizflächenbelastung $BTU/h\,ft^2$. Die obere Grenze q_{max} der Heizflächenbelastung ist abhängig von der Unterkühlung $\vartheta_W - \vartheta_s$ und der Strömungsgeschwindigkeit w. Der Wert q_{max} wird dann erreicht, wenn die Dampfblasen nicht mehr schnell genug kondensieren können und sich an der Heizfläche eine Filmschicht bildet, die den Wärmeübergangswiderstand erheblich vergrößert. Bei gleichbleibender Heizflächenbelastung bedeutet dies ein plötzliches Anwachsen der Wandtemperatur. Dieser Vorgang ist an Brennstoffelementen gefährlich und wird als *Durchbrennen bezeichnet, da dabei die Wandtemperatur meist einen Wert erreicht, der über dem

Schmelzpunkt liegt oder wenigstens die Korrosionsbeständigkeit der Brennstoffelementhülle vermindert.
Bei der Blasenverdampfung b) entstehen die Dampfblasen ebenfalls an der Heizfläche, ihre Zahl nimmt mit der Heizflächenbelastung zu. Die Flüssigkeitstemperatur ist im allgemeinen etwas höher als die Sättigungstemperatur. Die Dampferzeugung in Verdampfern, Dampfkesseln und Siedewasserreaktoren erfolgt normalerweise durch Blasenverdampfung, und zwar sowohl bei freiem als auch bei erzwungenem Umlauf. Die Wärmeübergangszahl α ist hier bei gleicher Re- und Pr-Zahl höher als bei einer nicht siedenden Flüssigkeit.
Filmverdampfung c) (Leidenfrostsches Phänomen). Sowohl bei örtlichem Sieden als auch bei Blasenverdampfung besteht eine obere Grenze $q_{\max}$ für die Heizflächenbelastung. Oberhalb dieser bildet sich eine neue Verdampfungsform aus, die sog. Filmverdampfung. Zunächst bildet sich nur an verschiedenen Stellen der Heizfläche eine Dampfschicht, q und α fallen mit steigender Temperaturdifferenz $\vartheta_W - \vartheta_F$. Nach kurzer Zeit bildet sich ein geschlossener Dampffilm, durch den die Wärme durch Leitung, Konvektion und Strahlung übertragen werden muß; q erreicht wieder seinen ursprünglichen Wert bei kleinerer Wärmeübergangszahl α und höherer Temperaturdifferenz $\vartheta_W - \vartheta_F$. Wegen der daraus folgenden Gefahr des Durchbrennens ist man wohl immer bestrebt, Filmverdampfung in Reaktoren zu vermeiden. [5]
engl.: heat transfer franz.: transmission de chaleur

Lit.: Gröber, Erk, Grigull, Wärmeübertragung, 3. Aufl., Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg, 1955. – McAdams, Heat Transmission, 3. Ed. McGraw-Hill, New York, 1954. – W. H. Jens u. P. A. Lottes, Analysis of Heat Transfer, Burnout, Pressure Drop and Density Data for High Pressure Water, ANL-4627.

Wärmeübergangszahl. Zur Beschreibung des Wärmeübergangs zwischen einer festen Wand und einem flüssigen oder gasförmigen Kühlmittel benützt man heute allgemein die Beziehung

$$Q = \alpha F(\vartheta_W - \vartheta_F),$$

wobei Q die an der Fläche F in der Zeiteinheit übergehende Wärmemenge, α die sog. W., ϑ_W die Wandtemperatur und ϑ_F die *Flüssigkeitstemperatur ist.

Die Gleichung entspricht dem N e w t o n schen Abkühlungsgesetz, sie ist aber in Wirklichkeit nichts anderes als eine Definitionsgleichung für die W. α, die nicht nur von der Natur der Flüssigkeit, sondern auch sehr wesentlich von der Art der Strömung abhängt (freie oder erzwungene *Konvektion). Die Dimension von α ist im technischen Schrifttum Kcal/m^2 h °C. Das Verhältnis α/λ, wobei λ die Wärmeleitfähigkeit ist, wird gelegentlich als „relative" W. bezeichnet. [5]
engl.: heat transfer coefficient
franz.: coefficient de transmission (de chaleur)

Wärmeübertragung spielt nicht nur in der Kraft- und Arbeitsmaschinentechnik eine wichtige Rolle, sondern ganz überragend in den meisten Prozessen der Verbrauchsgüterindustrie. Die Lehre von der W. und ihre technische Anwendung (Wärmeaustausch) ist daher ein wichtiger Bestandteil der Verfahrenstechnik und des Apparatebaues. Abgesehen von den sog. Industrieöfen, bei denen die Wärmestrahlung eine wichtige oder gar überragende Rolle spielt, ist in der Verfahrenstechnik die W. durch Konvektion, also durch Berührung zwischen den wärmeabgebenden und wärmeaufnehmenden Stoffen, von hervorragender Bedeutung. In der Kerntechnik steht sie, soweit es sich um die Energiegewinnung aus Kernreaktoren, aber auch um die Kühlung von Forschungsreaktoren handelt, ebenfalls im Vordergrund, weil die Wärmeabfuhr aus Kernreaktoren praktisch nur durch konvektive Übertragung, meist mittels erzwungener Strömung, möglich ist. Es entsteht die Aufgabe, das ungeheuer umfangreiche Wissen und Erfahrungsmaterial der Ingenieurtechnik und speziell der Verfahrenstechnik auf die z. T. abweichenden Aufgaben im Reaktor, aber auch in den Verfahren der Urangewinnung und Spaltstoffaufbereitung, zu übertragen. Praktisch handelt es sich hier, wie auch meist in anderen Gebieten der Technik, nur um die konvektive Wärmeübertragung bei erzwungener Strömung ohne Zustandsänderung, wenn man von dem Siedewasserreaktor absieht. Die W. bei gleichzeitiger Zustandsänderung, also bei Verdampfung und Kondensation, läßt sich bei dem heutigen Stande des Wissens trotz zahlreicher Ansätze und Versuche nicht so

bequem behandeln wie diejenige ohne Zustandsänderung. Bei dieser bietet sich durch die von Nusselt begründete modellähnliche Darstellung des Wärmeüberganges mit Hilfe dimensionsloser Kennzahlen die Annehmlichkeit, die Vorgänge mit nur vier Stoffwerten darzustellen, nämlich mit der Dichte γ, der kinematischen Zähigkeit ν, der Wärmeleitzahl λ und der spezifischen Wärme c. Die *Ähnlichkeitstheorie bildet aus diesen Werten unter Hinzuziehung der die Strömung charakterisierenden Daten, nämlich der Strömungsgeschwindigkeit w und einer kennzeichnenden geometrischen Abmessung d bestimmte dimensionslose Kennzahlen, deren wichtigste die folgenden sind:

*Prandtl-Zahl $\quad \mathrm{Pr} = \frac{\nu \cdot c \cdot \gamma}{\lambda}$,

*Reynolds-Zahl $\quad \mathrm{Re} = \frac{w \cdot d}{\gamma}$,

*Nusselt-Zahl $\quad \mathrm{Nu} = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda}$.

Durch Verknüpfung dieser Kenngrößen in einer Potenzbeziehung kann für die Konvektion bei erzwungener Strömung (bei freier Strömung kommt eine weitere Kennzahl, die *Grashoff-Zahl Gr hinzu) schließlich die interessierende Wärmeübergangszahl α, die zur Ermittlung der Heizflächengröße erforderlich ist, gewonnen werden:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda} = c\,(\mathrm{Re})^{m} \cdot (\mathrm{Pr})^{n},$$

wobei die Konstanten c, m, n aus Modellversuchen ermittelt werden. Für die technisch meist interessierende erzwungene, turbulente Strömung sind durch Modellversuche zahlreiche Gebrauchsformeln entwickelt worden, z. B. für eine turbulente Rohrströmung von Gasen oder Flüssigkeiten mit Erwärmung des Gases bzw. der Flüssigkeit

$$\mathrm{Nu} = 0{,}032\ \mathrm{Re}^{0{,}8} \cdot \mathrm{Pr}^{0{,}37} \cdot \left(\frac{d}{l}\right)^{0{,}054},$$

wobei d/l das Verhältnis von Durchmesser zu Länge des durchströmten Rohres darstellt, wenn man sich über

den Gültigkeitsbereich solcher Formeln klar ist, der z. B. für die oben angegebene Formel zwischen $0{,}7 < \mathrm{Pr} < 370$ und $10\,000 < \mathrm{Re} < 500\,000$ (für Wasser) liegt. Mit Hilfe der so gewonnenen Wärmeübergangszahl läßt sich dann die W. in Wärmetauschern mit $Q = \alpha \cdot F \cdot \Delta t$ (kcal/h) berechnen, wobei F die austauschende Fläche und Δt die wirksame Temperaturdifferenz ist. [2]

engl.: heat transfer *franz.: transmission de chaleur*

Lit.: Gröber-Erk-Grigull, Die Grundgesetze der Wärmeübertragung, 3. Aufl., Berlin, 1955. – H. Hausen, Wärmeübertragung im Gegenstrom, Gleichstrom und Kreuzstrom, Berlin, 1950. – A. Schack, Der industrielle Wärmeübergang, 2. Aufl., Düsseldorf, 1940.

Wärmeübertragungseigenschaften der *Kühlmittel für Reaktoren sind von den Stoffwerten (Wärmeleitfähigkeit, spezifischer Wärme, Dichte, Zähigkeit) abhängig. Es kommt meist darauf an, bei gegebenem Verhältnis von Wärmeleistung zu Pumpleistung und gegebener Temperaturdifferenz, möglichst viel Wärme pro Flächeneinheit abzuführen. Die flüssigen Metalle stehen diesbezüglich an erster Stelle. Bei den Gasen hat der Druck einen wesentlichen Einfluß. [8]

engl.: heat transfer properties
franz.: caractéristiques de transmission de chaleur

Warmfestigkeit. Festigkeit eines Werkstoffes bei höheren Temperaturen. Warmfeste Werkstoffe haben auch bei höheren Temperaturen noch technisch brauchbare Festigkeitseigenschaften. Solche warmfeste Werkstoffe sind z. B. unlegierte und leichtlegierte ferritisch-perlitische Stähle, austenitische Stähle mit Chrom-, Nickel-, Molybdän- und Vanadinzusätzen, *Hartmetalle sowie höchstschmelzende Metalle (z. B. Wolfram, Molybdän, Tantal u. a.) und deren Legierungen. [4]

engl.: high-temperature strength
franz.: résistance à chaud

Warmverformung. Plastische Verformung eines Werkstoffes oberhalb der *Rekristallisationstemperatur. Die *Verfestigung des Werkstoffes wird dabei durch Rekristallisation wieder beseitigt. [4]

engl.: hot forming, hot working
franz.: façonnage à chaud

Waschanlage im Rahmen einer Extraktionskolonne, s. z. B. Redox-Prozeß.
engl.: scrub section
franz.: laverie, installation de lavage

Waschlösung. Als W. bezeichnet man diejenige Lösung, mit der man aus der Extraktionsphase die extrahierten Stoffe auswäscht (reextrahiert), dieser Vorgang wird häufig auch als „Rückwäsche" bezeichnet. [22]
engl.: strip, scrub
franz.: solution de lavage

Wasser, aktiviertes. In einem Fluß thermischer Neutronen können die Sauerstoffatome der Wassermoleküle auf folgende Arten aktiviert werden:

1. ^{16}O (n, p) ^{16}N,
2. ^{17}O (n, p) ^{17}N.

Da das natürliche Vorkommen von ^{17}O nur 0,04 % beträgt, ist die Aktivität, die durch die erstgenannte Reaktion entsteht, vorherrschend. Eine weitere Aktivierung des Wassers ist über Verunreinigungen möglich. [17]
engl.: activated water *franz.: eau radioactivée*

Wasser, schweres. Wasser, welches statt des gewöhnlichen Wasserstoffs schweren Wasserstoff (Deuterium) enthält. Da das Wassermolekül H_2O zwei Wasserstoffatome enthält, gibt es, auch wenn man den Einbau von Tritium, dem überschweren Wasserstoff (Isotop ^3H), außer Betracht läßt, zwei Arten von Molekülen des schweren W.s, das Molekül HDO und das Molekül D_2O, wenn man das Symbol D für den schweren Wasserstoff schreibt. Unter s. W. schlechthin versteht man stets das zweitgenannte; das Molekül HDO kommt zwar in Gemischen von schwerem und gewöhnlichem Wasser auch vor, doch ist reines HDO nicht stabil.
Das s. W. (D_2O) hat gegenüber dem gewöhnlichen Wasser merklich verschiedene Eigenschaften. Vor allem ist seine Dichte bei 0 °C mit 1,105 um mehr als 10 % höher als die des gewöhnlichen Wassers. Sein Gefrierpunkt liegt bei 3,82 °C, sein Siedepunkt bei 101,42 °C. Sein Dichtemaximum erreicht es nicht wie gewöhnliches Wasser bei 4,0 °C, sondern erst bei 11,6 °C.

Im großen wird s. W. neben anderen Verfahren durch Elektrolyse von natürlichem Wasser hergestellt, dessen Wasserstoff etwa 0,2 ‰ schweren Wasserstoff enthält. Hierbei wird fast nur das gewöhnliche Wasser zerlegt und im Rückstand der Elektrolyse reichert sich das s. W. immer mehr an. Um 98 %iges s. W. zu erhalten, muß man dabei von der 100 000fachen Menge natürlichen Wassers ausgehen.

Das s. W. wird als Substanz hoher Deuteronendichte für verschiedene künstliche Kernumwandlungen verwendet, ferner als „*Moderator" zur Abbremsung rascher Neutronen im Reaktor. [1]

engl.: heavy water

franz.: eau lourde

Lit.: W. Riezler, Kernphysik, 6. Aufl., Oldenbourg, München, 1958.

Wasserbeckenreaktor. Dieser Reaktortyp entspricht im Prinzip einem sehr vereinfachten MTR, er ist thermisch, heterogen, leichtwasser-moderiert und -gekühlt, seine Brennstoffelemente sind vom MTR-Typ mit mehr oder weniger hoch angereichertem Uran als Brennstoff. Der Reaktor besteht aus einem im allgemeinen nach oben offenen Betonbecken (s. Abb. 1), auf dessen oberem Rand eine Laufbrücke aufgesetzt ist, die den eigentlichen Reaktor, Regeleinrichtungen und Instrumentierung trägt. Das Brennstoffgitter liegt ca. 6 m unter dem Wasserspiegel.

Es besteht (je nach Anreicherung) aus 16 bis 35 *Brennstoffelementen vom MTR-Typ, die in einem quadratischen Gitter angeordnet sind. Bei 90 % angereichertem Brennstoff benötigt man zum Betrieb 3,5 kg U-235, die kritische Menge beträgt 2,7 kg. Dimensionen des Reaktorkerns 38 × 38 × 61 cm. Sind nicht alle Plätze mit Brennstoffelementen besetzt, so werden Elemente mit Reflektorsubstanz, Beryllium, Be-Oxyd oder Graphit eingeführt. Die Brennstoffelemente werden von unten nach oben von Kühlwasser durchströmt, das gleichzeitig als Moderator dient. Drei Borkarbidstäbe dienen zur Steuerung des Reaktors, davon zwei als Trimm- und Sicherheitsstäbe, einer als Regelstab, sie greifen zwischen den Elementen hindurch, ihr Antrieb befindet sich auf der Brücke. Das Becken ist zur besseren Handhabung des Reaktors

zweigeteilt, der Reaktor kann im (in Abb. 1) hinteren Teil abgestellt werden, während im vorderen Teil gearbeitet wird. Die Betonwand des Behälters wirkt nach außen als abschließender biologischer Schild, sie ist von einer Reihe von Experimentierkanälen durchbrochen, die bis unmittelbar an die Spaltzone heranreichen. Sie bieten bequeme Experimentiermöglichkeiten. Die große Sicherheit der Anordnung beruht darauf, daß bei relativ hohem Fluß, d. h. größerer Wärmeentwicklung, die Dichte des Moderators absinkt. Da der Reaktor so konstruiert ist, daß er auf der

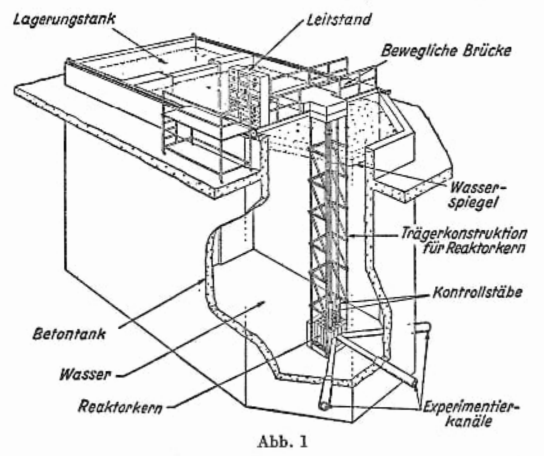


Abb. 1

„trockenen Seite" arbeitet, d. h. etwas mehr Uran enthält als dem günstigsten Mischungsverhältnis entspricht, wird jede Reaktion der Moderatormenge zwischen den Platten ein Absinken der Reaktivität bewirken. – Die Leistung dieses Reaktortyps liegt meist bei 1 MW.

Die Vorzüge dieses Reaktortyps liegen hauptsächlich in der Übersichtlichkeit der Anordnung, der leichten Zugänglichkeit, der großen inhärenten Sicherheit und der verhältnismäßig geringen Erstellungskosten. Nachteilig ist, daß nur begrenzte Neutronenflüsse erreicht werden können. Er ist ein ausgesprochener Forschungs- und Unterrichtsreaktor, dessen Leistung begrenzt ist,

da die Kühlung der Elemente durch die im allgemeinen benützte natürliche Konvektion des Wassers begrenzt ist.
Von diesem Reaktortyp gibt es eine Reihe Varianten, insbesondere mit weniger angereichertem Uran (20 %) und mit erzwungener Konvektion, um die Leistung etwas zu erhöhen, s. FRH (Forschungsreaktor Hamburg) und FRM (Forschungsreaktor München).
Man findet für diesen Reaktortyp gelegentlich auch die Bezeichnung Schwimmbad-Reaktor und Schwimmbekken-Reaktor als wörtliche Übersetzung der amerikanischen Bezeichnung. Da es in Deutschland aber *swimming pools*, die bei der Namensgebung Pate gestanden haben, gar nicht gibt, wäre zur Vermeidung falscher Vorstellungen die Bezeichnung Schwimmbad-Reaktor zu vermeiden. [25]
engl.: swimming pool reactor
franz.: réacteur piscine
Lit.: Peaceful Uses of Atomic Energy, Bd. 3, Beitrag 489, Genf, 1955. – S. Glasstone, Principles of Nuclear Engineering, S. 816 ff., D. van Nostrand, New York, 1956.

Wasserdampfdestillation, s. Dampfdestillation.

Wasserkesselreaktor. Hierunter versteht man einen homogenen Forschungsreaktor mit einer Leistung von 0 bis ca. 300 kW. Er arbeitet bei Atmosphärendruck und Temperaturen unter 100°. Die Kühlung erfolgt über ein Rohrsystem durch das Innere des Reaktorgefäßes; Kühlmittel: Wasser. Der Spaltstoff ist mit dem Moderator homogen vermengt. Damit sollen die Vorteile des leichtwassermoderierten Reaktors (Kennzeichen: angereichertes Uran, kleine Abmessungen) mit denen einer Spaltstofflösung (keine Herstellung von Brennstoffelementen) verbunden werden. Seine weiteren Vorteile sind:
1. einfache Anlage, geringe Anlagekosten (des Reaktors allein),
2. geringer U-235-Bedarf,
3. Möglichkeit kontinuierlicher Entgiftung; Xenon wird in jedem Fall laufend entfernt, da es in der Lösung frei aufsteigt, damit kann der Reaktor beliebig ab- und wieder angeschaltet werden,
4. einfach zu übersehender, sicherster Reaktorbetrieb mit hohem negativen Temperaturkoeffizienten, der

u. a. durch sehr schnell einsetzende Dichteminderung der Lösung bei plötzlichem Auflaufen des Neutronenpegels (infolge Wärmeausdehnung und radiolytischer Gas- und Dampfblasenbildung) bedingt ist,
5. guter Wärmehaushalt, die entstehende Wärme kann verzögerungslos abgeführt werden.
Diesen Vorteilen stehen als Nachteile gegenüber:
1. der Neutronenhaushalt des homogenen Reaktors ist prinzipiell schlechter als der des heterogenen,
2. schlechte Neutronenökonomie infolge der kleinen geometrischen Anordnung,
3. die Spaltstofflösung ist chemisch aggressiv, z. B. ist beim Supo pH < 2.
Beispiele für diesen Typ sind Lopo, Hypo, *Supo sowie die Reaktoren *FRF und FRB (Forschungsreaktoren in Frankfurt und Berlin).
Die Ausbildung dieses Reaktortypes zum Leistungsreaktor bringt viele technologische und abschirmungstechnische Schwierigkeiten mit sich. So vorteilhaft die kontinuierliche Brennstoffaufarbeitung ist, die ununterbrochenen Reaktorbetrieb garantiert, so groß sind die Schwierigkeiten beim Bau der Aufbereitungsanlage in Verbindung mit dem Reaktor. Der hoch radioaktive und chemisch aggressive Spaltstoff muß umgepumpt und einer Vielzahl von chemischen Prozessen neben dem Wärmeentzug, der nicht mehr über ein inneres Wärmetauschersystem (zu kleine Kühlfläche!) bewerkstelligt werden kann, unterworfen werden. Der *HRE II stellt einen Versuch in dieser Richtung dar. [25]
engl.: water boiler reactor
franz.: réacteur chaudière

Wasserstoff, schwerer, Wasserstoff, dessen sämtliche Atome ein *Deuteron statt eines Protons als Kern haben. Der s. W. (1931 von Urey und Mitarbeitern entdeckt) heißt deshalb auch Deuterium; statt seiner Kennzeichnung ^2_1H als Isotop des Wasserstoffs mit der Massenzahl 2 wird ihm häufig auch das selbständige Symbol D zugeordnet.
Der s. W. ist im natürlichen Wasserstoff zu 0,15 ‰ enthalten. Man kann ihn durch fraktionierte Destillation des flüssigen natürlichen Wasserstoffs rein her-

stellen, in größeren Mengen besser durch Elektrolyse des schweren *Wassers.

Das Wasserstoff-Isotop H hat mit 2 : 1 ein für Isotope extrem großes Massenverhältnis zum gewöhnlichen Isotop. Noch größer ist dieses nur beim Wasserstoff-Isotop ^3_1H, dem *Tritium, dessen Kern jedoch nicht stabil, sondern radioaktiv ist. Beim Wasserstoff sind daher manche *Isotopieeffekte merklich, die bei anderen Elementen unter der Beobachtbarkeitsgrenze liegen.

S. W. spielt vor allem eine Rolle zur Erzeugung von Deuteronen (in Gasentladungen in s.m W.) für Deuteronenstrahlen (s. Ionenstrahlen). [1]

engl.: deuterium

franz.: hydrogène lourd

Lit.: W. Riezler, Atomphysik, 6. Aufl., Oldenbourg, München, 1958.

Wasserstoffatom. Das W. ist das leichteste aller Atome und das am einfachsten gebaute. Es besteht beim gewöhnlichen Isotop (s. a. Wasserstoff, schwerer) aus einem Proton als Kern und einem einzigen Elektron. Da die der Bindungsenergie von Proton und Elektron äquivalente Masse vernachlässigbar ist, ist die Masse des W.s einfach die Summe der Ruhmassen (die relativistische Massenzunahme des bewegten Elektrons ist ebenfalls vernachlässigbar) des Protons und des Elektrons, also 1,00814 Kernmasseneinheiten oder $1{,}6733 \cdot 10^{-24}$ g. Im Grundzustand ist das magnetische Moment des W.s im wesentlichen (d. h. von dem kleinen Beitrag des Kerns abgesehen) gleich dem Spin-Moment seines Elektrons, also rund gleich einem Bohrschen Magneton, da der Beitrag des „Bahnumlaufs" des Elektrons in diesem Zustand Null ist. [1]

engl.: hydrogen atom

franz.: atome hydrogène

Wasserstoffbombe, Massenvernichtungswaffe, die auf der unkontrollierten Auslösung einer *thermonuklearen Reaktion beruht (Fusionsbombe). Der Name W. dürfte insofern nicht ganz korrekt sein, als nicht der Wasserstoff, sondern seine schwereren Isotope Deuterium und Tritium die entscheidende Rolle zu spielen scheinen. Die zur Kernverschmelzung nötigen Temperaturen werden durch die Explosion einer Uran-

Wasserstoffbombe

Atombombe (Spaltungsbombe) geliefert, deren Auslösung nicht schwierig ist, da für sie – im Gegensatz zur W. – eine *kritische Masse existiert. Nähere Einzelheiten über die W. wurden bisher nicht bekanntgegeben, doch kann man einige naheliegende Vermutungen anstellen. Ursprünglich (Operation Greenhouse, 1951) dürfte es sich um eine W. auf der Basis der Reaktion $T^3(d, n)He^4 + 17{,}6$ MeV gehandelt haben. Später ist man offenbar zu einem Reaktionszyklus übergegangen, bei dem nicht nur eine Aufheizung der noch nicht verschmolzenen Kerne durch die bereits freigewordene Energie erfolgt, sondern bei dem jede Reaktion Teilchen erzeugt, die den Fortgang der Reaktion beschleunigen. Dies ist z. B. möglich, indem man eine W. mit LiD versieht. Das Li geht die Reaktion

$$Li^6(n, \alpha)T^3 + 4{,}8 \text{ MeV}$$

ein. Das dabei erzeugte Tritium reagiert wie oben mit Deuterium und es wird ein Neutron freigesetzt, das wieder mit Li reagieren kann. Es bildet sich also der Zyklus

$$\begin{array}{l} n + Li^6 \rightarrow He^4 + T + 4{,}8 \text{ MeV} \\ \uparrow \qquad\qquad\qquad\quad \downarrow \\ n + He^4 \leftarrow \; D \;\; + T + 17{,}7 \text{ MeV} \end{array}$$

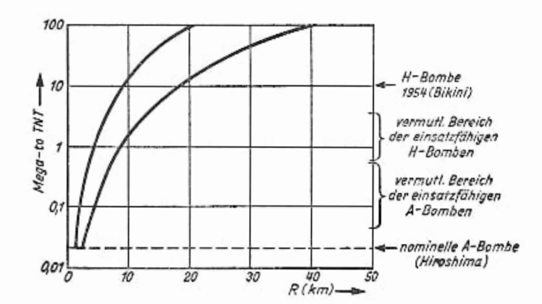
aus.

Da eine Fusionsreaktion unter normalen Temperaturbedingungen nicht von selbst in Gang kommt, gibt es für die W. keine kritische Menge und damit keine Grenze der Zerstörungswirkung. Offenkundig ist die W. mit einem Mantel aus U^{238} umschlossen, das durch die schnellen Neutronen gespalten wird. Auf diese Weise kommen die großen Mengen an Spaltprodukten zustande, die nach W.-Explosionen festgestellt wurden („schmutzige" W. im Gegensatz zu der gegenwärtig in Entwicklung befindlichen „sauberen", wobei vermutlich ein neuartiger Zündmechanismus vorgesehen ist).

Die Zerstörungswirkung der W. übersteigt die der Atombombe um ein Vielfaches. Man schätzt das Zerstörungsäquivalent auf einige Megatonen TNT (Trinitrotoluol).

Die Abb. zeigt die Größe einer W., die in einer Entfernung R einen bestimmten Überdruck erzeugt: obere

Kurve 0,7 kg/cm², untere Kurve 0,2 kg/cm² (nach M. v. Ardenne: Tabellen zur angewandten Kernphysik). Ein Überdruck von 0,7 kg/cm² führt zu schwer-



sten Schäden an Gebäuden und Fahrzeugen, während 0,2 kg/cm² leichtere Schäden hervorruft. [13]
engl.: hydrogen bomb
franz.: bombe à hydrogène
Lit.: H. Thirring, Nucleonics 13, No. 11, S. 62 (1955).

Wasserstoffradius, der Radius der ersten Bohrschen Kreisbahn im Wasserstoffatom,

$$a = 0{,}5292 \cdot 10^{-8}\,\text{cm}. \qquad [1]$$

engl.: radius of hydrogen atom, Bohr radius
franz.: rayon (de l'atome) d'hydrogène

Wasserstoffperoxyd, H_2O_2, Peroxyd des Wasserstoffes. Es entsteht unter anderem bei der Zersetzung von Wasser durch energiereiche Strahlung. W. ist leicht thermisch zu O_2 und H_2O zu spalten. [18]
engl.: hydrogen peroxide
franz.: eau oxygénée, peroxyde d'hydrogène

Wasserüberwachung, die Messung von Radioaktivität in Wasser, insbesondere in Abwässern. Die Messung kann kontinuierlich mit Zählrohren oder Szintillationszählern, die in das Wasser eingetaucht werden, durchgeführt werden. Die Meßempfindlichkeit solcher Anordnungen liegt bei etwa 10^{-6} bis 10^{-7} μc/cm³. Zur Messung kleinerer Aktivitäten muß eine bestimmte Menge Wasser eingedampft werden. Dann wird die Aktivität des Rückstandes gemessen. Auch durch An-

reicherung mit *Ionenaustauschern lassen sich sehr geringe Aktivitäten in Wasser nachweisen. [17]
engl.: water survey
franz.: surveillance de l'eau

Wasserzersetzung. Wasser wird unter dem Einfluß ionisierender Strahlung zersetzt. Man unterscheidet hierbei eine Radikalreaktion (R), bei der Radikale gebildet werden, und eine Molekularreaktion (M), die in einer Erzeugung von Wasserstoffperoxyd und Wasserstoff besteht. Letztere Reaktion wird auch Vorwärtsreaktion genannt.

$$H_2O \rightarrow H + OH \qquad (R)$$
$$2\,H_2O \rightarrow H_2O_2 + H_2 \qquad (M) \qquad [18]$$

engl.: water decomposition
franz.: décomposition de l'eau

Wechselfestigkeit, s. Dauerversuch.
engl.: fatigue limit under completely reversed stress
franz.: limite fatigue sous efforts purement alternés

Wechselwirkung bezeichnet den Einfluß eines physikalischen Körpers auf einen anderen. Wegen actio = reactio ist dies gleichbedeutend mit einem Einfluß des zweiten auf den ersten Körper. Es gibt W.n der verschiedensten Art, z. B. eine W. der Himmelskörper auf Grund der Gravitation und eine W. elektrisch geladener Gebilde auf Grund des elektromagnetischen Feldes (elektromagnetische W.). Das Verhalten der Nukleonen im Atomkern wird bestimmt durch die nukleare W. der Teilchen. Häufig spricht man auch von der W. eines Feldes mit seinen Quellen und meint damit die Art der Kopplung von Feld und Quelle.

W. Strahlung–Materie. Trifft eine elektromagnetische Wellenstrahlung (γ-Strahlung) auf Materie, so können die Photonen mit den Elektronen der Atome (I), den Kernbausteinen (II), dem elektrischen Feld, das die geladenen Teilchen umgibt (III), und dem Mesonenfeld, das die Kernbausteine umgibt (IV), in Wechselwirkung treten. Der Endeffekt einer solchen Wechselwirkung kann eine vollständige Absorption

des Photons (a), eine elastische (b) oder eine unelastische (c) Streuung des Photons sein. Prinzipiell können also zwölf verschiedene Prozesse auftreten. Einige der Prozesse sind sehr selten, d. h. sie haben in den uns zugänglichen Energiebereichen sehr kleine Wirkungsquerschnitte. Einige der Prozesse wurden überhaupt noch nicht beobachtet (vgl. Tabelle). [7, 26]

Wirkung / Prozeß	a	b	c
I	Photoeffekt $\sigma \approx 10^4$ b für E $\approx$ 0,1 MeV, rasche Abnahme für höhere Energien	Rayleigh-Streuung Vorhanden für niedere Energien (< 0,1 MeV)	Compton-Effekt Vorhanden bis zu Energien von 10 MeV hier ist $\sigma \approx 0{,}1$ b
II	Kernphotoeffekt $\sigma \approx 1$ b ab 15 MeV für schwere Elemente	Kernstreuung bis jetzt nicht beobachtet	—
III	Paarbildung ab 1 MeV $\sigma \approx 100$ b maximal	Delbrückstreuung bis jetzt noch nicht beobachtet	—
IV	Erst ab etwa 150 MeV mit Querschnitten in der Größenordnung millibarn		

engl.: interaction

franz.: action mutuelle, action réciproque

Weglänge. Freie W., genauer: mittlere freie W. ist die Strecke, welche ein fliegendes Teilchen (Atom, Ion, Molekül, Neutron) im Mittel zwischen zwei Zusammenstößen frei fliegend zurücklegt. Sie errechnet sich aus der Dichte N der Kerne und dem totalen *Wirkungsquerschnitt σ zu

$$s = \frac{1}{N\sigma}\,. \qquad (1)$$

Der Wirkungsquerschnitt hängt von der Art der Kerne und von der Relativgeschwindigkeit ab.

Die Verteilung der einzelnen, individuellen Weglängen x gehorcht dem Weglängen-Verteilungsgesetz von Clausius:

$$W(x) = e^{-x/s}\,. \qquad (2)$$

Hierbei ist $W(x)$ die Wahrscheinlichkeit dafür, daß ein Teilchen eine Strecke x ohne Zusammenstoß zurücklegt.

Man unterscheidet u. a. eine mittlere freie Weglänge für Streuung und für Absorption. Man berechnet diese, indem man in der Formel (1) für σ den Streuquerschnitt bzw. den Einfangquerschnitt einsetzt. [1, 7]
engl.: mean free path
franz.: libre parcours moyen

Weichlöten, s. Löten.
engl.: soldering
franz.: souder

Weitwinkelstreuung, diejenigen Streuakte, bei denen ein großer Ablenkungswinkel auftritt. Die W. ist von Bedeutung für die Abschirmung gegen jedwede Strahlung, weil ein einziger Streuakt genügt, um ein Neutron oder γ-Quant aus einem Strahl abzulenken. [7]
engl.: wide angle scattering
franz.: diffusion aux grands angles

Wellen, elektromagnetische, im Plasma. Es gibt eine große Anzahl von Störungen, die sich als Wellen in einem Plasma ausbreiten und die meist sehr komplexer Natur sind. Es ist jedoch möglich, bei einer idealisierenden Beschreibung diese Wellen in drei charakteristische Gruppen zu trennen: a) die e. W., b) die magnetohydrodynamischen Wellen und c) die elektrostatischen Wellen. Die Probleme, die mit diesen Erscheinungen zusammenhängen, könnte man in ein Fachgebiet „Störungstheorie der *Magnetohydrodynamik" zusammenfassen.

Die Grundgleichung für e. W. im Plasma,

$$\nabla^2 \mathfrak{E} - 4\pi c^2 \operatorname{grad} \varrho_e = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathfrak{E}}{\partial t^2} + 4\pi \frac{\partial \mathfrak{j}}{\partial t},$$

erhält man aus den Maxwellschen Gleichungen der Elektrodynamik. Der Strom $\mathfrak{j}$ folgt aus den hydromagnetischen Gleichungen, die hier in linearisierter Form

$$\varrho \frac{\partial \mathfrak{v}}{\partial t} = \mathfrak{j} \times \mathfrak{B} - \operatorname{grad} p - \varrho\, \mathfrak{g}$$

($\mathfrak{g}$ Schwerebeschleunigung) verwendet werden, zu

$$\frac{m_e c^2}{n_e e^2} \frac{\partial \mathfrak{j}}{\partial t} = \mathfrak{E} + \mathfrak{v} \times \mathfrak{B} - \frac{c}{n_e e} \mathfrak{j} \times \mathfrak{B} + \\ + \frac{c}{n_e e} \operatorname{grad} p - \frac{1}{\varrho} \mathfrak{j} .$$

Wellen, elektromagnetische, im Plasma

Setzt man den Gradienten der Ladungsdichte $\nabla \varrho_e$, den Druckgradienten ∇p_e und das magnetische Feld $\mathfrak{B}$ gleich Null, so folgt, wenn $\mathfrak{j}$ parallel zur Wellenfront ist und die elektrische Leitfähigkeit σ als unendlich groß angenommen wird,

$$\Delta^2 \mathfrak{E} - \frac{\omega_p{}^2}{c^2} \mathfrak{E} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathfrak{E}}{\partial t^2} .$$

Es ist $\omega_p = (4 \pi n_e e^2/m_e)^{1/2}$ die Plasmaeigenfrequenz, n_e die Elektronendichte, m_e die Elektronenmasse, e die Elementarladung, p_e der Partialdruck der Elektronen ($p = p_e + p_{\text{ion}}$) und c die Lichtgeschwindigkeit. Mit dem Lösungsansatz $e^{i[(2\pi/\lambda)\mathfrak{r} + \omega t]}$, wobei λ die Wellenlänge der sich mit einer Phasengeschwindigkeit $V = (\omega \lambda/2 \pi)$ ausbreitenden Störung ist, ergibt sich die Dispersionsgleichung

$$V^2 = \frac{c^2}{1 - (\omega_p{}^2/\omega^2)} .$$

Dies besagt, daß beim Durchgang einer e. W. durch ein Plasma die freien Elektronen im elektrischen Wechselfeld zu Eigenschwingungen derselben Frequenz $\omega = 2 \pi \nu$ wie die der einfallenden e. W. angeregt werden und somit eine eigene e. W. emittieren, wobei sich beide überlagern. Demzufolge wird die Phasengeschwindigkeit der einfallenden e. W. geändert. Der Brechungsindex ist gegeben durch $c/V = n$, somit

$$n^2 = \frac{c^2}{V^2} = 1 - \left(\frac{\omega_p}{\omega}\right)^2 .$$

Ist ein Magnetfeld $\mathfrak{B}$ im Plasma vorhanden, dann wird die Schwingung der freien Elektronen durch dieses be-

einflußt. Es ist also $\mathfrak{B} \neq 0$, aber wieder $\nabla p_e = 0$, $\nabla \varrho_e = 0$ und $\sigma = \infty$. Vernachlässigung von $\mathfrak{v} \times \mathfrak{B}$ ergibt aus der Grundgleichung für e. W.

$$\frac{V^2}{c^2} = 1 - \left(\frac{\omega_p}{\omega}\right)^2 \left[1 + \left(\frac{\omega_p}{\omega}\right)^2 \frac{{}^1/_2 \cdot \sin^2 \varphi}{(\omega_p/\omega)^2 - 1} \mp \right.$$
$$\left. \mp \left(\frac{\omega_{ce}}{\omega}\right) \sin \varphi \sqrt{\left[\frac{{}^1/_2}{(\omega_p/\omega)^2 - 1}\right]^2 + \operatorname{tg}^2 \varphi}\,\right]^{-1},$$

wobei $\omega_{ce} = (e\,B/2\,\pi\,m_e\,c)$ die *Zyklotronfrequenz der Elektronen ist. Man erhält somit für den Brechungsindex

$$n^2 = 1 - \left(\frac{\omega_p}{\omega}\right)^2 \left\{1 + \left(\frac{\omega_p}{\omega}\right)^2 \frac{{}^1/_2 \cdot \sin^2 \varphi}{(\omega_p/\omega)^2 - 1} \mp \right.$$
$$\left. \mp \left(\frac{\omega_{ce}}{\omega}\right) \sin \varphi \sqrt{\left[\frac{{}^1/_2}{(\omega_p/\omega)^2 - 1}\right]^2 + \operatorname{tg}^2 \varphi}\right\}^{-1}$$

die Appleton-Hartree-Formel, die jedoch nur bei Vernachlässigung von Elektronenstößen gültig ist. φ ist der Winkel zwischen Ausbreitungsrichtung der Störung und der Magnetfeldrichtung. Für $\varphi = 0$ folgt die vereinfachte Beziehung für den longitudinalen Fall

$$V^2 = \frac{c^2}{1 - \left(\frac{\omega_p}{\omega}\right)^2 \frac{1}{1 \mp \omega_{ce}/\omega}}.$$

Das positive Vorzeichen entspricht dem ordentlichen Strahl, das negative dem außerordentlichen Strahl. Für $\varphi \neq 0$ hat man elliptische Polarisation, der Umlaufsinn der Feldvektoren ist entgegengesetzt. Im longitudinalen Fall sind die beiden Strahlen entgegengesetzt zirkular polarisiert. [27]

engl.: electromagnetic waves in a plasma

franz.: ondes électromagnétiques dans un plasma

Lit.: H. Alfvén, Cosmical Electrodynamics, Clarendon Press, Oxford, 1950. – L. Spitzer Jr., Physics of Fully Ionized Gases, Interscience Publ., New York, 1956.

Wellen, elektrostatische, im Plasma. Die elektrische Ladung, aus der die elektrostatischen Rückstellkräfte entstehen, resultiert aus der Divergenz über

Wellen, elektrostatische, im Plasma

die Stromdichte $\mathfrak{j}$. Es werden zwei Arten von e. W. im Plasma unterschieden: a) Schwingungen der Elektronen, wobei die Schwingungen der Ionen vernachlässigbar klein sind und b) der Fall der e. W., bei denen die Trägheit der positiven Ionen dominiert.

In den *hydromagnetischen Gleichungen, die in linearisierter Form verwendet werden (s. Wellen, elektromagnetische, im Plasma), setzt man die makroskopische Geschwindigkeit $\mathfrak{v}$ und das magnetische Feld $\mathfrak{B}$ gleich Null. Ferner wird unendliche elektrische Leitfähigkeit angenommen. Man erhält somit für die zeitliche Änderung der Stromdichte

$$\frac{m_e c^2}{n_e e^2} \frac{\partial \mathfrak{j}}{\partial t} = \mathfrak{E} + \frac{c}{n_e e} \nabla p_e .$$

(Zur Erklärung der Symbole s. Wellen, elektromagnetische, im Plasma.) Bei rein e. W. ist es einfacher, anstelle der Grundgleichung für elektromagnetische Wellen die obige Gleichung nach Divergenzbildung zu verwenden. Für eindimensionale adiabatische Änderung des Partialdruckes der Elektronen p_e hat man für ∇p_e die Beziehung $\nabla p_e = -(3\,k\,T_e\,c)/e\,\nabla \varrho_e$, wobei T_e die Elektronentemperatur, k die Boltzmann-Konstante, e die Elementarladung, c die Lichtgeschwindigkeit und ϱ_e die Ladungsdichte ist. Damit ergibt sich

$$\frac{\partial^2 \varrho_e}{\partial t^2} = -\,\omega_p{}^2\,\varrho_e + \frac{3\,k\,T_e}{m_e} \nabla^2 \varrho_e ,$$

wobei $\omega_p = (4\,\pi\,n_e\,e^2/m_e)^{1/2}$ die Plasmaeigenfrequenz ist. Mit dem Lösungsansatz $e^{i(2\pi x/\lambda + \omega t)}$ (λ Wellenlänge der Störung) erhält man für die Phasengeschwindigkeit der e. W. der Elektronen

$$V^2 = \frac{\omega_p{}^2\,\lambda}{2\,\pi} + \frac{3\,k\,T_e}{m_e} .$$

Über den Mechanismus der Anregung solcher e. W. der Elektronen im Plasma herrscht z. Z. noch wenig Klarheit. Ebenso ist die Kopplung zwischen solchen Elektronenschwingungen und einem äußeren elektro-

magnetischen Strahlungsfeld noch wenig untersucht. Prinzipiell können sowohl Dichteschwankungen wie auch Magnetfelder eine solche Kopplung hervorrufen. In der Darstellung der aus Ionenschwingungen resultierenden e. W. geht man direkt von den linearisierten Bewegungsgleichungen aus, da nun auch eine Störung von $\mathfrak{v}$ gegeben ist. Entsprechend ∇p_e hat man $\nabla p_i = 3\,k\,T_i\,\nabla n_i$. Es folgt somit

$$\frac{\partial p}{\partial t} = -\frac{3\,k\,T_i}{m_i}\left(1 + z\,\frac{T_e}{T_i}\right)\varrho\,\nabla\cdot\mathfrak{v}\,,$$

und daraus weiter

$$\frac{\partial^2\mathfrak{v}}{\partial t^2} = \frac{3\,k\,T_i}{m_i}\left(1 + z\,\frac{T_e}{T_i}\right)\nabla^2\,\mathfrak{v}\,.$$

Dies ist die übliche Gleichung für eine akustische Welle mit der Phasengeschwindigkeit

$$V^2 = \frac{3\,k\,T_i}{m_i}\left(1 + z\,\frac{T_e}{T_i}\right).$$

Obwohl hier das elektrische Feld $\mathfrak{E}$ nicht explizit auftritt, spielt es doch bei dieser Art von Störungen eine wesentliche Rolle. Es wurde angenommen, daß n_i sich auf gleiche Weise wie n_e ändert und daß der Strom $\mathfrak{j}$ verschwindet. Daraus folgt, daß $\mathfrak{E}$ gerade ∇p_e kompensieren muß. Gerade dieses elektrische Feld teilt den Ionen die durch den Gradienten des Partialdruckes der Elektronen entstehende Kraft mit. Demzufolge, wenn $T_e \gg T_i$, wird die Phasengeschwindigkeit der e. W. der Ionen so groß wie ihre thermische Geschwindigkeit wäre im Falle $T_i = T_e$. [27]

engl.: electrostatic waves in a plasma

franz.: ondes électrostatiques dans un plasma

Lit.: H. Alfvén, Cosmical Electrodynamics, Clarendon Press, Oxford, 1950. – L. Spitzer Jr., Physics of Fully Ionized Gases, Interscience Publ., New York, 1956. – T. G. Cowling, Magnetohydrodynamics, Interscience Publ., New York, 1957. – D. Bohm and E. P. Gross, Phys. Rev. 75, 1851 (1949), 75, 1864 (1949). – E. P. Gross, Phys. Rev. 82, 232 (1951). – G. V. Gordejev, J. Eksper. Teoret. Fis. 23, 660 (1952).

Wellen, magnetohydrodynamische, im Plasma. Infolge einer Kopplung zwischen mechanischen und elektrischen Kräften im *Plasma entsteht bei Vorhandensein eines äußeren Magnetfeldes ein neuer Wellentyp,

die m. W., die zuerst von H. Alfvén 1942 auf theoretischem Wege gefunden und untersucht wurden. Man verwendet die Grundgleichung für elektromagnetische Wellen im Plasma und die linearisierten hydromagnetischen Gleichungen (s. Wellen, elektromagnetische, im Plasma). Man vernachlässigt grad p_e, $\mathfrak{j} \times \mathfrak{B}$, $\partial\mathfrak{j}/\partial t$ in der Gleichung für $\partial\mathfrak{j}/\partial t$ und nimmt unendlich große *Leitfähigkeit σ an. Das Magnetfeld $\mathfrak{B}$ wird aufgespalten in einen konstanten äußeren Anteil $\mathfrak{B}_0$ und einen veränderlichen inneren Anteil $\mathfrak{B}_i$. Das zeitlich variable Feld $\mathfrak{B}_i$ wird durch den elektrischen Strom verursacht. Man hat die Beziehungen

Wellen, magnetohydrodynamische, im Plasma

$$\varrho \frac{\partial \mathfrak{v}}{\partial t} = \mathfrak{j} \times \mathfrak{B}_0 \,; \quad \mathfrak{E} + \mathfrak{v} \times \mathfrak{B}_0 = 0$$

die in die Grundgleichung für elektromagnetische Wellen einzusetzen sind. Es folgt somit

$$\nabla^2 \mathfrak{E} = \left(1 + \frac{4\pi\varrho c^2}{\mathfrak{B}_0^2}\right) \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathfrak{E}}{\partial t^2} .$$

Nimmt man an, daß $\mathfrak{v}$ und $\mathfrak{B}_i$ parallel sind und senkrecht auf $\mathfrak{B}_0$ stehen, dann erhält man für die Phasengeschwindigkeit der transversalen m. W.

$$V_{\text{trans}}^2 = \frac{c^2}{\varepsilon} = \frac{c^2}{1 + 4\pi\varrho c^2/B_0^2} \approx$$

$$\approx \frac{B_0^2}{4\pi\varrho} = \frac{B_0^2/8\pi}{\varrho/2} .$$

$\varepsilon = 1 + (4\pi\varrho c^2/B^2)$ ist die Dielektrizitätskonstante eines polarisierbaren Mediums von der Polarisierbarkeit ϱ/B^2. Die hier angegebene Näherung für V gilt im Falle $\varepsilon \gg 1$. Damit kann eine Alfvénsche Welle angesehen werden als eine normale elektromagnetische Welle, modifiziert durch die große Dielektrizitätskonstante des Mediums. Die hier angegebenen Beziehungen gelten nur für inkompressible Medien.

Im Falle longitudinaler m. W. ($\mathfrak{v}$ ist parallel zur Ausbreitungsrichtung und beide stehen senkrecht auf $\mathfrak{B}_0$) ist ∇p mit zu berücksichtigen, die anderen Vernachlässigungen bleiben wie im transversalen Fall. Ver-

Wellen, magnetohydrodynamische, im Plasma

nachlässigt man Stöße zwischen den Teilchen des Plasmas, dann erhält man für die Phasengeschwindigkeit der longitudinalen m. W.

$$V_{\text{long}}^2 = \frac{c^2}{\varepsilon} + \frac{2\,k\,T_i}{m_i}\left(1 + z\frac{T_e}{T_i}\right)\left(1 - \frac{1}{\varepsilon}\right),$$

wobei T_i die Ionentemperatur, m_i die Ionenmasse, Z die Ladungszahl der Ionen und T_e die Elektronentemperatur ist. Führt man den magnetischen Druck (s. Pinch-Effekt) $p_m = B^2/8\,\pi$ und den Gasdruck $p_g = (\varrho\,k\,T)/m$ ein, so folgt

$$V_{\text{long}}^2 \approx \frac{\mathfrak{B}_0^2}{4\,\pi\,\varrho} + \frac{2\,k\,T}{m}\,(1+z)\left(1 - \frac{1}{\varepsilon}\right) =$$

$$= \frac{p_m}{\varrho/2} + \frac{p_g}{\varrho/2}\,(1+z)\left(1 - \frac{1}{\varepsilon}\right).$$

Im Falle $p_m \gg p_g$ folgt $V_{\text{long}} = V_{\text{trans}}$, d. h. die Phasengeschwindigkeit der longitudinalen m. W. wird gleich der der transversalen Alfvén-Welle. Wenn $p_g > p_m$, ist die longitudinale Welle im wesentlichen eine akustische. Ist die Amplitude dieses Wellentyps genügend groß, kann sich eine hydromagnetische Stoßwelle ausbilden.

Bei der obigen Darstellung wurde allgemein vorausgesetzt, daß die Frequenz der Störung ω kleiner ist als die *Zyklotronfrequenz ω_{ci} der positiven Ionen, da bei größeren Frequenzen ω die vernachlässigten Glieder wesentlich werden und damit der Charakter der m. W. sich ändert. Nicht nur die Phasengeschwindigkeit V kann sich dabei ändern, sondern es kann auch eine Rotation der Polarisationsebene hervorgerufen werden und elektrostatische Felder aufgebaut werden. Schließlich kann eine solche m. W. mit wachsendem ω in eine normale elektromagnetische Welle übergehen. [27]

engl.: magnetohydrodynamic waves in a plasma

franz.: ondes magnétohydrodynamiques dans un plasma

Lit.: H. Alfvén, Cosmical Electrodynamics, Clarendon Press, Oxford, 1950. – L. Spitzer Jr., Physics of Fully Ionized Gases, Interscience Publ., New York, 1956. – T. G. Cowling, Magnetohydrodynamics, Interscience Publ., New York, 1957. – S. Lundquist, Ark. Fys. 5, 297 (1952). – N. Herlofson, Nature 165, 1020

(1950). – F. de Hoffmann and E. Teller, Phys. Rev. 80, 692 (1950). – E. Aström, Ark. Fys. 2, 443 (1950).

Wellenfunktion. 1. W. ist eine vom Ort und von der Zeit abhängige Funktion, die der *Wellengleichung genügt.

2. Da die Schrödinger-Gleichung der Quantenmechanik ähnlich wie die eigentliche Wellengleichung gebaut ist und vielfach periodische, wellenförmige Lösungen hat, hat sich der Name auch auf die Psi-Funktion (ψ-Funktion) der Quantenmechanik übertragen. [7]

engl.: wave function
franz.: fonction d'onde

Wellengleichung heißt die Differentialgleichung

$$\Delta u = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 u}{\partial^2 t}. \qquad (1)$$

Dabei ist u eine Funktion des Ortes und der Zeit und je nach dem zugrunde gelegten Koordinatensystem anzusetzen. Δ ist der Laplacesche Operator.
t bedeutet die Zeit; v hat die Dimension einer Geschwindigkeit. Die Gleichung kann als die Definition der ungedämpften Welle angesehen werden. Die Lösung der obigen partiellen Differentialgleichung zweiter Ordnung enthält zwei willkürliche Funktionen. Im Fall der linearen Ausbreitung gilt

$$u = u_1(t - x/v) + u_2(t + x/v). \qquad (2)$$

Die Form der beiden willkürlichen Funktionen u_1 und u_2 muß durch zusätzliche Forderungen bestimmt werden. Besagen diese, daß es sich um eine ebene Welle handeln soll, so ist in komplexer Darstellung

$$u_1 = A_1 \, e^{i\omega_1(t - x/v)} \text{ und } u_2 = A_2 \, e^{i\omega_2(t + x/v)}. \qquad (3)$$

Der erste Summand entspricht einer in der Richtung der positiven x-Achse fortschreitenden Welle; der zweite Summand bedeutet eine in der entgegengesetzten Richtung laufende Welle. [7]

engl.: wave equation
franz.: équation d'onde

Wellenlänge, effektive, nennt man diejenige Wellenlänge einer homogenen ionisierenden Strahlung, die

bei gegebener Filterung dieselbe Schwächung erfährt, wie heterogene Strahlung hinsichtlich ihrer Ionisationseigenschaften. [28]
engl.: effective wavelength
franz.: longueur d'onde effective

Wellenmechanik, s. Quantenmechanik (Nachtrag).

Wellenzahl ist der Kehrwert der Wellenlänge, also die Anzahl ganzer Wellen, die auf die Längeneinheit, meist auf 1 cm, geht. Die W. wird deswegen oft lieber als die Wellenlänge benutzt, weil sie der Frequenz nicht umgekehrt, sondern direkt proportional ist. [1]
engl.: wave number
franz.: nombre d'ondes

Wert = normierter Trennaufwand, s. Kaskade.
engl.: value
franz.: valeur

Wertfunktion, s. Kaskade.
engl.: value function
franz.: fonction de valeur

Wicksche Methode (auch Verfahren von Chandrasekhar), eine Variante der Kugelfunktionsmethode zur Lösung der *Boltzmann-Gleichung. Man kann die W.-M. auch als „Methode der diskreten Ordinaten" bezeichnen. Sie benützt eine numerische Integrationsformel (z. B. die von Gauß), um die Winkelabhängigkeit des Integrals in der Boltzmann-Gleichung zu beseitigen, so daß die Neutronendichte $N(\mathfrak{r}, E, \vec{\Omega})$ nunmehr als Funktion der Intervallendpunkte $\vec{\Omega}_i$ der Integrationsformel erscheint. Die Boltzmann-Gleichung ist dann für jedes (konstante) $\vec{\Omega}_i$ zu lösen. [13]
engl.: Wick's method
franz.: méthode de Wick

Lit.: A. M. Weinberg and L. C. Noderer, Theory of Neutron Chain Reactions, AECD-3471, 1951.

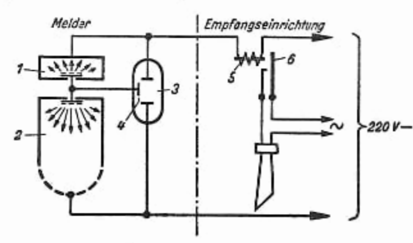
Widerstand, radioaktiver, besteht im Prinzip aus einer Ionisationskammer mit einem ein- oder angebauten radioaktiven Strahler. Unterhalb des Sättigungsstromes ist der r. W. ein ohmscher Widerstand. Mit

zunehmender Sättigung strebt er gegen unendlich. (R. W.e werden mit Vorteil in Verbindung mit Ionisationskammern benutzt, da für beide Bauelemente die gleichen Abhängigkeiten von äußeren Umständen, wie Temperatur, Luftdruck- und chemische Beschaffenheit der Atmosphäre gelten.)

Der r. W. nimmt mit dem radioaktiven *Abfall des Strahlers zu, was gelegentlich für Relaisschaltungen benutzt wurde.

Anwendungsbeispiel bei einem Feuermelder:

R.W. 1 ist fast offen, R.W. 2 weit offen. Langperiodische Änderungen der Atmosphäre ändern das Widerstandsverhältnis nicht. Wenn allerdings bei Ausbrechen eines Brandes Rauchgase nur in 2 treten, so lagern sich an diese die Ionen ab. Diese verlieren ihre Beweglichkeit und tragen deshalb nicht mehr zur



elektrischen Leitung bei, was zu einer Änderung des Widerstandsverhältnisses 1/2 und zum Zünden des Thyratrons (3) führt, dessen Strom ein Signal betätigt. [16]

engl.: radioactive resistance
franz.: résistance radioactive

Lit.: F. Perrin u. B. Pregel, U.S. Pat. 2 375 130.

Widerstandsziffer, s. Druckverlust.
engl.: friction factor
franz.: coefficient de transmission

Widmanstättensches Gefüge, Verwachsungsstruktur eines geometrisch regelmäßigen, heterogenen *Gefüges das entsteht, wenn sich eine Phase aus einer anderen Phase ausscheidet, und die Ausscheidung in Form und

*Orientierung von der Orientierung der Mutterphase abhängt. [4]
engl.: Widmanstätten structure
franz.: structure de Widmanstätten

Wiederbeladen, das Einsetzen unbestrahlter Brennstoffelemente in einen Reaktor als Ersatz aller oder eines Teiles der bestrahlten Brennstoffelemente. [12]
engl.: recharging *franz.: recharge*

Wiedereinsetzen. Wird ein Teil oder die Gesamtmenge des in den alten, bestrahlten Brennstoffelementen enthaltenen Spaltstoffes oder fruchtbaren Materials diesen entzogen und durch Herstellung neuer Brennstoffelemente in den Reaktor wieder eingesetzt, so nennt man dieses periodische Zurückführen in den Reaktor W. des betreffenden chemischen Elements (Spaltstoffs). [12]
engl.: recycling
franz.: recyclage

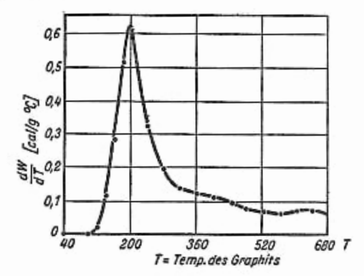
Wigner-Effekt, Bezeichnung für den Vorgang, daß ein schnelles Neutron ein Atom von seinem Gitterplatz stößt. Es ist dies der Primärschritt für die Entstehung von *Strahlenschäden durch Kernstoß und wurde als solcher von E. P. Wigner 1942 vorausgesagt. [20]
engl.: Wigner-effect
franz.: effet Wigner

Wigner-Energie nennt man die im Reaktor in bestrahltem Graphit gespeicherte Energie. Diese Energiespeicherung wird durch die Zwischengitteratome und Gitterlücken im Graphit verursacht, die im wesentlichen durch die Neutronenstrahlung geschaffen werden und seine Gitterenergie erhöhen. Die W.-E. ist also proportional der Zahl N dieser Fehlstellen und der von ihrer Aktivierungsenergie ε abhängigen gespeicherten Energie pro Fehlstelle $s(\varepsilon)$:

$$W = N(\varepsilon) \cdot s(\varepsilon) .$$

Für $N(\varepsilon)$ existiert ein Gleichgewichtszustand, in dem gerade die Zahl der durch Strahlung geschaffenen Fehlstellen gleich der Zahl der rekombinierenden ist. Letztere steigt mit wachsender Temperatur, und zwar sind in dem Temperaturgebiet bei 200 °C die Mehrzahl der

Zwischengitteratome in der Lage, in die stabilsten Gitterstellen zu wandern bzw. sich zu zwei- oder mehratomigen „Zwischengittermolekülen" zu vereinen. Im Gebiet über 250 °C überwiegen diese letztgenannten Fehlstellen. In ihnen ist nicht soviel Energie wie in einatomaren Fehlstellen gespeichert, auch sind sie schwerer bewegbar, so daß sie erst bei höherer Temperatur ausheilen. Dieser Sachverhalt, der beim Erhitzen von



bestrahltem Graphit in einem gewissen Temperaturbereich zu einem starken Freiwerden von Energie führt, ist in der Abb. dargestellt. Die Lage des Maximums und die Form der Kurve hängt von der Bestrahlungsdauer des Graphits ab. Gleiches gilt für die Temperatur, bei der praktisch die gesamte W.-E. frei geworden ist, also alle Fehlstellen ausgeheilt sind. Sie liegt im allgemeinen zwischen 700 und 1000 °C, je nach Graphitart.

Bei allen Reaktoren, bei denen $T_{\text{Graphit}} < 250$ °C, ist die W.-E. von Bedeutung. Um die Sicherheit des Reaktors nicht zu gefährden, muß sie in regelmäßigen Abständen, die von der Reaktorbetriebstemperatur abhängen, freigemacht werden. Dies geschieht durch ein genau überwachtes Überhitzen des Graphits. [21]

engl.: Wigner energy

franz.: énergie de Wigner

Wigner-Kerne nennt man mitunter die wichtigste Klasse der Spiegelkerne, nämlich diejenigen Isobarenpaare, bei denen sich Ordnungszahl (Zahl der Protonen) und Zahl der Neutronen um 1 unterscheiden, z. B. ${}^{2}_{1}H^{3}$ und ${}^{1}_{2}He^{3}$; ${}^{15}_{14}Si^{29}$ und ${}^{14}_{15}P^{29}$. [7]

engl.: Wigner nuclei *franz.: noyaux de Wigner*

Wigner-Kraft ist ein phänomenologischer Ansatz für die Kernkraft, die mit dem Austausch des Spins der beiden Teilchen, zwischen denen die Kraft wirkt, gekoppelt ist. S. Austausch, Kernkraft. [7]
engl.: Wigner force
franz.: force de Wigner

Wilson-Kammer, s. Nebelkammer.

Windscale, Standort der ersten beiden britischen Kernreaktoren für Plutoniumerzeugung (luftgekühlt, graphitmoderiert, mit natürlichem Uran). W. liegt bei Sellafield an der Westküste Cumberlands und hat Anlagen für Extraktion und Fabrikation des Plutoniums. Gebaut und betrieben von der Industrial Group der UKAEA. [24]

Windsichter, s. Sichten und Zyklon.
engl.: cyclone
franz.: trieur à air

Winfrith Heath, Standort des neuen, als Erweiterung des AERE Harwell geplanten Atomforschungs- und Entwicklungsinstituts der britischen Atomenergiebehörde (UKAEA) in der Grafschaft Dorset. [24]

Winkelkorrelation (Richtungskorrelation). Wenn ein Atomkern durch Zwischenschaltung angeregter Niveaus (Kernanregung) nacheinander zwei Strahlungen aussendet, z. B. $\beta - \gamma$ oder $\gamma - \gamma$, so sind die Richtungen, in denen die beiden Teilchen emittiert werden, in vielen Fällen nicht unabhängig voneinander. Die zwischen beiden Richtungen bestehende statistische Beziehung nennt man W. Man bestimmt sie experimentell, indem man durch zwei Zähler in *Koinzidenzschaltung diejenigen Paare von Teilchen, die jeweils vom selben Kern nach zwei festgelegten Richtungen ausgesandt werden, heraussiebt und nun die Zahl dieser Paare in Abhängigkeit vom Winkel zwischen den beiden Richtungen bestimmt. Die W. hat für das Studium der angeregten Zustände der Atomkerne große Bedeutung gewonnen. [1]
engl.: angular correlation
franz.: correlation angulaire

Lit.: H. Frauenfelder, Angular correlation of nuclear radiation, in: Annual Rev. of Nuclear Science, Vol. 2, Stanford (Calif.), 1953.

Winkelverteilung, Verteilung einer Strahlung über die verschiedenen Richtungen im Raum. So spricht man z. B. bei der Streuung von der W. der gestreuten Teilchen. [1]
engl.: angular distribution
franz.: répartition (distribution) angulaire

Wirksamkeit, relative biologische, s. R. B. W.

Wirkungsgesetz für Röntgen- und γ-Strahlen. Es gibt die physikalische Wirkung (Ionisation, photographische Schwärzung, Erregung von Fluoreszenzlicht u.s.f.) und damit die absorbierte Energie (Dosis) als Funktion der Energie E_0 der einfallenden Strahlung an. Wirksam ist nach Glocker nur der Bruchteil der in ein Volumen einfallenden Primärenergie, der in Sekundärelektronen umgesetzt wird. Bedeutet W eine Wirkung, so ist:

$$W = n\,E_0 (1 - e^{-\mu D})\,\frac{\alpha\,\tau + \sigma^* + \varkappa^*}{\mu}$$

$\alpha\,\tau$ Photoelektronenausbeute mal Photoabsorptionskoeffizient, σ^* Koeffizient der Comptonelektronenbildung, $\varkappa^*$ Koeffizient der Paarbildungselektronenbildung, μ totaler Absorptionskoeffizient, D Dicke der betrachteten Schicht. [26]
engl.: efficiency law for x-rays
franz.: loi d'efficacité
Lit.: R. Glocker, Z. Phys. 43, 827 (1927); 46, 764 (1928); 136, 352 (1953).

Wirkungsgrad, thermischer. In allen Maschinen, die laufend Wärme in Arbeit verwandeln, erreicht das Arbeitsmittel immer wieder periodisch seinen alten Zustand. Verfolgt man dabei die Zustandsänderungen in einem Zustandsdiagramm (z. B. in einem druckspezifischen Volumen, Temperatur-Entropie oder Enthalpie-Entropie Diagramm), so bewegt man sich auf einer geschlossenen Kurve. Der Vorgang läßt sich daher thermodynamisch durch einen Kreisprozeß beschreiben. Das Verhältnis der bei einem Kreisprozeß nach außen abgegebenen Arbeit L zu der dem System zugeführten Wärme Q bezeichnet man als th.W.

$$\eta = \frac{L}{Q}\,.$$

Nach dem ersten Hauptsatz ist die bei einem Kreisprozeß geleistete Arbeit gleich der Differenz zwischen zugeführter Wärme Q und abgeführter Wärme Q_0. Somit läßt sich der th. W. auch in der Form

$$\eta = \frac{Q - Q_0}{Q} = 1 - \frac{Q_0}{Q}$$

schreiben. Bei einem Carnot-Prozeß wird die Wärmemenge Q bei einer konstanten Temperatur T dem System zugeführt und bei der tieferen Temperatur T_0 die Wärme Q_0 abgeführt. Dabei gilt unabhängig von der Art des Arbeitsmittels (s. Entropie), daß das Arbeitsmittel am Ende eines Kreisprozesses wieder in seinem ursprünglichen Zustand sein muß. Damit ergibt sich der th.W. eines Carnotschen Kreisprozesses zu

$$\eta = 1 - \frac{T_0}{T}.$$

Dieser gilt für Wärmekraftmaschinen als idealer Vergleichswirkungsgrad, da es nach dem zweiten Hauptsatz zwischen zwei gegebenen Temperaturen T_0 und T keinen Kreisprozeß mit einem günstigeren th.W. geben kann. [5]

engl.: theoretical oder *thermal efficiency*

franz.: rendement thermique

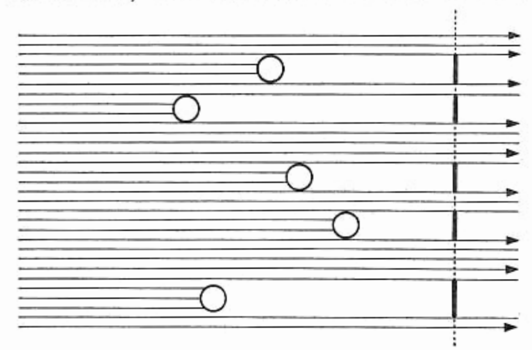
Lit.: E. Schmidt, Einführung in die Technische Thermodynamik, 6. Aufl., Springer, Berlin, 1956.

Wirkungsquantum, s. Plancksches Wirkungsquantum.

Wirkungsquerschnitt. Dringen irgendwelche Korpuskeln, z. B. Teilchen eines Korpuskularstrahls, durch Materie, so treten sie in Wechselwirkung mit den Molekülen, Atomen oder Kernen des Stoffes, den sie durchqueren. Unter dem W. eines Moleküls, Atoms oder Atomkerns gegenüber einem bestimmten Strahlteilchen und bezogen auf eine bestimmte Art der Wechselwirkung versteht man nun den zur Strahlrichtung senkrechten Querschnitt desjenigen Bereichs um das Molekül usw. herum, in welchen das Strahlteilchen eindringen muß, damit es eine Wechselwirkung, z. B. eine Streuung, d. h. eine Ablenkung aus seiner ursprünglichen Richtung, oder aber eine Absorption (wie z. B.

Neutronen beim Stoß auf bestimmte Atomkerne) erleidet. Man spricht so vom Streuquerschnitt, Absorptionsquerschnitt, Spaltquerschnitt u. a.

Den W. kann man sich anschaulich vorstellen als die Fläche einer Schießscheibe, die man anstelle des Moleküls usw. aufstellen müßte und welche die Eigenschaft hätte, beim Getroffenwerden die betreffende



Zur Bedeutung des Wirkungsquerschnitts

Wirkung (Streuung, Absorption usw.) auf das auftreffende Teilchen auszuüben (s. Abb.).

Sind daher in der durchstrahlten Materie N Moleküle (bzw. Atome, Kerne) im cm^3 vorhanden, jedes mit dem W. σ, so befinden sich in 1 cm^2 einer dünnen Schicht von der Dicke dx eine Anzahl von $N\,dx$ Molekülen, welche zusammen den ankommenden Teilchen eine „empfindliche Fläche" $\sigma N\,dx$ darbieten. Da von jedem Quadratzentimeter der Anteil $\sigma N\,dx$ wirksam ist, ist dies gleichzeitig die gesamte Wahrscheinlichkeit dafür, daß das Teilchen beim Durchgang durch die Schicht dx die erwartete Streuung oder Absorption erleidet.

Bezieht sich der W. auf die Absorption, so ist es immer ein *integraler* W. Beim Streuquerschnitt dagegen kann man entweder ebenfalls den integralen W. angeben, der die Wahrscheinlichkeit einer Streuung überhaupt liefert; man kann ihn aber auch in Anteile unterteilen, welche den Streuungen in bestimmte Winkelbereiche, evtl. auch noch mit bestimmten Eingrenzungen des Energieverlustes, entsprechen. Diese

Anteile nennt man differentielle W.e (s. u.). Die integralen W.e für Streuung liegen meist in der Größenordnung des geometrischen Querschnitts, also bei einfachen Molekülen und Atomen bei 10^{-15} cm², bei Kernen bei 10^{-24} cm², für viele sehr unwahrscheinliche Kernreaktionen jedoch auch viel niedriger, umgekehrt bei „Resonanz"-Wechselwirkung um oft mehrere Größenordnungen höher. Für Kern-W. wird als Einheit 1 barn = 10^{-24} cm² gebraucht. [1]

engl.: cross section

franz.: section efficace

Lit.: W. Riezler, Kernphysik, 6. Aufl., Oldenbourg, München, 1958. – Landolt-Börnstein, Zahlenwerte und Funktionen, I. Bd., 5. Teil, 6. Aufl., Springer, Berlin, 1952.

Wirkungsquerschnitt, makroskopischer, Σ ist der auf die Volumeneinheit bezogene Wirkungsquerschnitt für eine bestimmte Reaktion. Er berechnet sich also aus dem auf den Kern bezogenen (mikroskopischen) W. σ durch Multiplikation mit der Zahl N der im cm³ vorhandenen Kerne, also

$$\Sigma = N \cdot \sigma \text{ [cm}^{-1}] .$$

Wenn verschiedene Arten streuender Kerne vorhanden sind, ist

$$\Sigma = N^{(1)} \cdot \sigma^{(1)} + N^{(2)} \cdot \sigma^{(2)} + \ldots$$

Der m. W. ist demzufolge von der Dichte der Substanz abhängig (s. Kristalleffekte). Die Bezeichnung ist vor allem in der Reaktorphysik zweckmäßig und üblich. [7]

engl.: macroscopic cross section

franz.: section effiace macroscopique

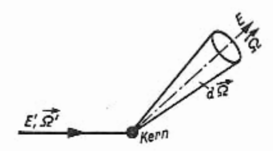
Wirkungsquerschnitte, differentielle, nennt man *Wirkungsquerschnitte, welche nicht nur von der Art des getroffenen Kerns und der Energie des stoßenden Neutrons abhängen, sondern auch der Winkelabhängigkeit der Reaktion Rechnung tragen. Ein Neutron bewege sich mit der Energie E' in Richtung $\vec{\Omega}'$ gegen einen ruhenden Kern. Die Wahrscheinlichkeit dafür, daß das entstehende sekundäre Teilchen mit einer Energie zwischen E und $E + \mathrm{d}E$ in einen elementaren Kegel der Öffnung $\mathrm{d}\vec{\Omega}$ und $\vec{\Omega}$ ausgestrahlt

wird (Abb.), betrage $w(E', \vec{\Omega}' \to E\, \vec{\Omega})/4\,\pi$. Der d. W. für diesen Prozeß kann dann in der Form

Wirkungsquerschnitt, differentieller

$$\sigma(E', \vec{\Omega}' \to E, \vec{\Omega}) = \sigma(E') \frac{1}{4\,\pi} w(E', \vec{\Omega}' \to E, \vec{\Omega})$$

geschrieben werden. Unter $\sigma(E')$ ist dabei der gewöhnliche (richtungsunabhängige) Wirkungsquerschnitt zu verstehen. Er ergibt sich aus dem d. W. durch Integration über alle Energien E und Richtungen $\vec{\Omega}$ der Sekundärteilchen und heißt daher integraler W.



Im Fall des *Neutroneneinfangs wird (zunächst) kein Sekundärteilchen emittiert und es ist $w = \delta(E)$ zu setzen (δ bezeichnet die Diracsche *Deltafunktion). Bei der *Spaltung kann man gleichmäßige Verteilung der Spaltneutronen auf alle Raumrichtungen annehmen. Außerdem ist das Energiespektrum $f(E)$ dieser Neutronen (s. Spaltspektrum) weitgehend von E' unabhängig, so daß $w = f(E)$ zu setzen ist. Bei der *elastischen Streuung schließlich ist der Stoß mit Energieabgabe an den Kern verbunden. Es sei $E' - E = \Delta E'$. Dann hat man zu setzen: $w = \delta[E - (E' - \Delta E)]$. Die Winkelabhängigkeit von $\Delta E'$ folgt aus den Gesetzen der *elastischen Streuung.

Kann man von der Energieänderung bei der Streuung absehen (z. B. Diffusion von thermischen Neutronen), so ist σ_s nur eine Funktion des Streuwinkels bzw. seines cos: $\sigma_s = \sigma_s(\mu)$. Es ist in diesem Fall zweckmäßig, den d. W. nach Kugelfunktionen zu entwickeln, indem man

$$\sigma_s(\mu) = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{2\,i+1}{2} \sigma_{s\,i} \cdot P_i(\mu)$$

setzt. Diese Entwicklung beginnt mit den Gliedern

$\sigma_s(\mu) = {}^1/_2\, \sigma_s(1 + 3\,\mu) + \ldots$, wobei σ_s den totalen Streuquerschnitt und μ den mittleren cos des Streuwinkels bedeutet. Dieser beträgt für elastische Streuung $2/(3\,A)$, wobei A die Massenzahl der streuenden Kerne ist. [13]
engl.: differential cross sections
franz.: sections efficaces différentielles

Wismut (Bi), Schwermetall der Dichte 9,8, Ordnungszahl 83, Atomgewicht 209,00, Schmelzpunkt 271 °C, Siedepunkt 1560 °C, Absorptionsquerschnitt für thermische Neutronen 0,032 barn/Atom, Kristallstruktur rhomboedrisch. Trotz seiner geringen Neutronenabsorption kommt das Metall infolge seiner geringen Schmelztemperatur als *Strukturmaterial praktisch nicht in Betracht. Wegen seiner hohen Dichte und des im Vergleich zum Blei geringeren Absorptionsquerschnittes für Neutronen (Bi: 0,032, Pb: 0,17) benutzt man es mitunter als Gammaschirm vor der thermischen Säule von Reaktoren. Über Strahlenschäden in W.-Metall ist nichts bekannt. Schmelzen von Bi und Bi-Legierungen kommen als Kühlmittel für Reaktoren in Frage. Außerdem dient es als Lösungsmittel für Uran in *Flüssigmetallreaktoren. Kurzlebige radioaktive Wismutisotope kommen in den Zerfallsreihen von ^{238}U, ^{235}U und ^{232}Th vor, nämlich ^{210}Bi = RaE ($t_{1/2}$ = 4,85d), ^{211}Bi = AcC (2,16 min), ^{212}Bi = ThC (60,8 min), ^{214}Bi = RaC (19,5 min). [3, 20]
engl.: bismuth
franz.: bismuth

Wochendosis, s. Dosis.
engl.: week dose *franz.: dose hebdomadaire*

Wolfram (W), hochschmelzendes Metall mit der Dichte 19,3; Ordnungszahl 74, Atomgewicht 183,9. Schmelzpunkt 3400 ± 50 °C, Siedepunkt ungefähr 5930 °C. Absorptionsquerschnitt für thermische Neutronen $\Sigma_a = 1{,}2\ \text{cm}^{-1}$. Kristallstruktur: kubisch raumzentriert.
W. zeichnet sich durch hohe Härte und hohe Warmfestigkeit aus und hat eine gute Korrosionsbeständigkeit gegenüber Säuren und reduzierenden Gasen. Es findet Verwendung in der Glühlampenindustrie, in der

Vakuumtechnik, als Elektroden- und Kontaktwerkstoff und als Heizleiter. Ferner ist W. ein wichtiges Legierungselement von Qualitätsstählen. W.-Karbide sind Härteträger von *Hartmetallen und von Schnellarbeitsstählen. [4]

engl.: tungsten *franz.: wolfram, tungstène*

Wolfram 185 und 187. Die beiden häufig als *Leitisotope verwendeten radioaktiven Kerne der Masse 185 und 187 sind Beta- und Gammastrahler. Beide Isotope entstehen durch Bestrahlung des natürlichen Wolfram mit langsamen Neutronen durch einen (n, γ)-Prozeß, welcher für ^{187}W einen etwa 15mal größeren Wirkungsquerschnitt besitzt, so daß die spezifische Sättigungsaktivität des ^{187}W entsprechend größer ist.

Strahlungsdaten:

Isotop:	^{187}W	^{185}W
Betastrahlung:	70 % 0,63 MeV	10 % 0,37 MeV
	30 % 1,33 MeV	90 % 0,43 MeV
Gammastr.:	6 Linien von 0,07 bis 0,69 MeV	2,5% 0,06 MeV
Konv.elektr.:	—	7,5%
Halbwertszeit:	73 Tage	1 Tag

[16]

Wolframkarbid, s. Wolfram.

Würenlingen, Schweizer Atomforschungs- und Entwicklungsinstitut an der Aare, ca. 40 km von Zürich. Errichtet und betrieben durch die privatwirtschaftliche Reaktor AG. Standort der ersten beiden Forschungsreaktoren in der Schweiz (SAPHIR, P-34). [24]

X

X-10, s. Oak Ridge Reaktor X-10.

X-Einheit, eine aus der Röntgen-Spektroskopie stammende Längeneinheit (Siegbahn) von etwa 10^{-11} cm. Sie ist dadurch definiert, daß die Gitterkonstante des Kalkspates bei 18 °C 3029,45 X sein soll. Es ist

$$1\,X = 1{,}00202 \cdot 10^{-11}\,\text{cm} = 1{,}00202 \cdot 10^{-3}\,\text{Å}\,.$$

engl.: X-unit *franz.: unité X*

Xenon, Edelgas. Es entsteht unter anderem bei der Kernspaltung. Das Isotop ^{135}Xe besitzt einen sehr hohen Neutroneneinfangquerschnitt und muß daher bei Leistungsreaktoren entfernt werden, s. Reaktorgifte. [18]
engl.: xenon
franz.: xénon

Xenon 133 tritt als Spaltprodukt im Kernreaktor auf. Außerdem erhält man es durch Bestrahlung des natürlichen ^{132}Xe mit langsamen Neutronen.
Als radioaktives Edelgasisotop wird ^{133}Xe neben ^{37}Ar, ^{41}Ar, ^{85}Kr und den verschiedenen radioaktiven Emanationen als Leitisotop z. B. für Leckmessungen oder bei der *Emaniermethode benutzt. Der Xenonkern ist im Grundzustand und in einem angeregten Zustand radioaktiv.

Strahlungsdaten:

Isotop:	$^{133}Xe^*$	^{133}Xe
Halbwertszeit:	2,3 Tage	5,3 Tage
Betastrahlen:		0,34 MeV
Gammastrahlen:	0,23 MeV	0,08 MeV
Konv. Elektronen:	85 %	63 %

[16]

Xenonvergiftung, s. Reaktorgifte.
engl.: xenon poisoning
franz.: empoissonnement par le xénon

X-Strahlen, in fremden Sprachen die Bezeichnung der Röntgen-Strahlen. Unter diesem Namen hat Röntgen seine Entdeckung beschrieben. [7]
engl.: X-rays
franz.: rayons X

Y

Y-12, Codebezeichnung für elektromagnetische Isotopentrennanlage in Oak Ridge, Tennessee, USA. [7]

Yellow cake, Diuranate von Natrium, Magnesium oder Ammonium: $Na_2U_2O_7 \cdot xH_2O$ oder $MgU_2O_7 \cdot xH_2O$

oder $(NH_4)_2U_2O_7 \cdot xH_2O$, die ausfallen, wenn man U-haltige Lösungen, wie sie bei der Behandlung von *Uranerzen anfallen, mit Natronlauge, Magnesiumoxyd oder Ammoniak versetzt. Der Niederschlag wird abfiltriert und getrocknet. „Yellow cake" ist das wichtigste Urankonzentrat. [20]

Yttrium, s. „Oxyd-Ausschlackung".

Yukawa-Potential ist die einfachste, theoretisch begründbare Radialabhängigkeit des Potentials der Kernkräfte (neben Spin-abhängigen Faktoren) und hat die Form $e^{-\varkappa r}/r$. $\varkappa^{-1}$ ist eine Konstante von der Größe $\approx 2 \cdot 10^{-13}$ cm. Sie ist aus dem beobachteten Abfall der Kernkräfte mit dem Abstand erschlossen. Das Potential wurde von Yukawa 1935 als Ergebnis seiner Theorie des Kernfeldes angegeben. [7]
engl.: Yukawa potential
franz.: potentiel de Yukawa

Yukawasche Theorie des Kernfeldes. In Analogie zur Maxwellschen Theorie versuchte Yukawa 1935 eine Theorie des Kernfeldes aufzustellen. Seine Theorie blieb zwei Jahre hindurch unbeachtet, vielleicht weil sie zum Postulat eines neuen Elementarteilchens führte, das wegen seiner Zerfallseigenschaft damals ungewöhnlich war. Erst als ein solches Elementarteilchen 1937 in der kosmischen Strahlung entdeckt wurde, rückte die Y. T. in den Mittelpunkt des wissenschaftlichen Interesses. S. Meson, Kernkraft, Mesonentheorie der Kernkräfte. [7]
engl.: Yukawa theory of the nuclear field
franz.: théorie de Yukawa du champ nucléaire

Z

Zähler, s. Zählrohr.

Zähler, automatischer, beendet selbsttätig eine Messung nach Erreichen einer vorgegebenen Impulszahl oder einer bestimmten Zeit. Unter Umständen ertönt nach Beendigung der Messung ein Signal. Auf diese Weise ist die Aufmerksamkeit des Messenden nicht über die Zeit der Messung, die sich auf Stunden erstrecken kann, gebunden. Die Automatik kann in

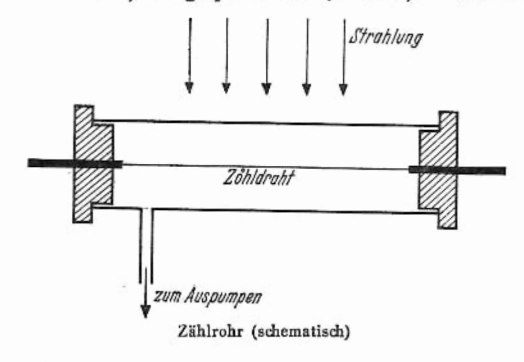
Verbindung mit einem automatischen *Probenwechsler gesteigert werden. [16]
engl.: automatic counter
franz.: compteur automatique

Zähler, richtungsunabhängiger, s. Milligoat-Zähler.
engl.: non-directional detector, Milligoat detector
franz.: détecteur non directionnel

Zähler, wellenlängenunabhängige, sind Z., die sich in bezug auf die Röntgen-Einheit wellenlängenunabhängig verhalten. Sie besitzen also dieselben Absorptionseigenschaften wie die Luft in einer Ionisationskammer. Als Baumaterial nimmt man „wellenlängenunabhängiges *Material" wie Kohlenstoff und organische Substanzen. Diese Z. finden in der radiologischen Praxis als Dosismessung Verwendung. [26]

Zählrate. Die von einem Geiger-Müller- oder Szintillationszähler angezeigte Impulszahl je Zeiteinheit. [3]
engl.: counts per minute, counting rate
franz.: taux de comptage

Zählrohr, das von Geiger und Müller erfundene Z., in der amerikanischen Literatur als GMC (Geiger-Müller-Counter) bezeichnet, dient zur Zählung einzelner, genügend energiereicher geladener Korpuskeln.
Es besteht aus einem mit Luft oder einem anderen Gas (meist Argon) unter vermindertem Druck gefüllten, meist dünnwandigen Metallrohr, durch welches in der Achse isoliert ein dünner Metalldraht (0,1 . . . 0,2 mm Durchmesser) ausgespannt ist (s. Abb.). Zwischen



Zählrohr (schematisch)

Rohrwandung und Draht wird eine Spannung von der Größenordnung 1000 V gelegt, wobei gewöhnlich der Draht (auch Zähldraht genannt) die positive Elektrode bildet.

Das Z. wirkt, wenn sein Volumen von ionisierenden Teilchen durchsetzt wird, zunächst als *Ionisationskammer. Durch das starke Feld in der Umgebung des Zähldrahtes kommt man aber in das Gebiet der *Stoßionisation, und die von einem Teilchen primär gebildeten Ionen werden hierdurch auf eine viele tausendmal größere Zahl vermehrt, so daß ein kräftiger Stromstoß entsteht, der sich nach mäßiger Verstärkung leicht nachweisen läßt. Durch die Art der Schaltung, insbesondere durch einen hohen vorgeschalteten Widerstand (10^9 bis $10^{10}\ \Omega$), kann erreicht werden, daß die gezündete Entladung sofort wieder abreißt, und das Z. für ein neues zu zählendes Teilchen bereit ist. Neuerdings erzielt man denselben Effekt auch ohne Vorschaltwiderstand durch Beimengung eines Dampfes mit mehratomigen Molekülen (z. B. Alkoholdampf, Methangas u. a.) zum Gasinhalt. Derartige „Dampfzählrohre" oder selbstlöschende Z.e haben eine größere Auflösung und erlauben daher eine höhere Zählgeschwindigkeit.

Je nach der angelegten Spannung arbeitet das Z. im Proportionalitätsbereich (Proportionalzähler), wobei es einen der primären Ionisation proportionalen Stromstoß liefert und dadurch verschiedenartige Teilchen (z. B. Elektronen und α-Teilchen) zu unterscheiden gestattet, oder (bei höherer Spannung) im Auslösebereich (s. Auslösezähler), wobei der Verstärkungsfaktor noch größer ist, aber alle Teilchen denselben Stromstoß liefern, gleichgültig ob sie primär viel oder wenig ionisieren.

Der im Z. entstehende Stromstoß wird auf die verschiedenste Weise weiterverarbeitet. Er kann an ein Elektrometer gehen, welches etwa photographische Registrierung der Ausschläge erlaubt, oder nach höherer Verstärkung an einen Lautsprecher (Zähl-Knacke) oder ein mechanisches Zählwerk. Mit einem solchen lassen sich Zählgeschwindigkeiten bis zur Größenordnung 1000 Teilchen/s bewältigen. Noch höhere Teilchendichten mißt man mit Hilfe von Untersetzern, welche

nur jeden zweiten, vierten oder achten usw. Stromstoß des Zähldrahtes auf das Zählwerk leiten.

Je nach Gestaltung der äußeren Hülle des Z.s kann es zur Zählung verschiedenartiger Teilchen geeignet gemacht werden. Um sehr energiereiche Elektronen, z. B. der kosmischen Strahlung, zu zählen, gibt man dem Z. eine nur dünne Metallwandung, die von den Elektronen durchschlagen wird. Je dünner die Wandung, desto langsamere Elektronen werden noch registriert.

Um α-Teilchen oder Protonen zu zählen, muß das Z. ein „Fenster" haben, das mit einer sehr dünnen Metallfolie überdeckt ist, durch welche diese Teilchen dringen können.

Umgekehrt erhält das Z., wenn Photonen einer γ-Strahlung gezählt werden sollen, eine dicke Bleiwandung ($\sim$1 cm), um eine große Wahrscheinlichkeit dafür zu geben, daß das Photon ein Sekundärelektron auslöst.

Endlich lassen sich mit dem Z. auch Neutronen zählen, wenn durch Auskleidung mit einer borhaltigen Substanz oder noch besser durch Füllung des Z.s mit dem gasförmigen Bortrifluorid (BF_3) dafür gesorgt wird, daß die Neutronen, die ja selbst nicht ionisieren, durch Kernprozesse ^{10}B (n, α) ^{7}Li ionisierende α-Teilchen erzeugen (Neutronenzählrohr).

Das Z. wird heute praktisch vor allem zur Überwachung radioaktiver Strahlungen bei den Arbeiten am Reaktor und mit radioaktiven Isotopen gebraucht. [1]

engl.: counter tube

franz.: tube compteur, compteur

Lit.: W. Riezler, Kernphysik, 6. Aufl., Oldenbourg, München, 1958. – E. Fünfer u. H. Neuert, Zählrohre und Szintillationszähler, Braun, Karlsruhe, 1954.

Zählrohrcharakteristik. Trägt man die Zählrate in Funktion der Spannung am Zählrohr bei konstanter Strahlenquelle auf, so bekommt man als Kurve die Z. [7]

engl.: plateau characteristic, voltage characteristic, counting rate

franz.: caractéristique (d'un compteur)

Zählrohrteleskop dient zur Feststellung der Richtung einfallender Teilchen (z. B. der Höhenstrahlung). Mehrere Zählrohre, die sich in größerem gegenseitigem Abstand befinden, betätigen in Koinzidenzschaltung

ein Anzeigegerät. Passiert ein Teilchen die Zählrohre, so wird es nur angezeigt, wenn es in der durch die Verbindungslinie der Zählrohre definierte Richtung fällt. Vor oder zwischen die Zählrohre kann z. B. eine Nebelkammer gebracht werden, deren Aufzeichnungsmechanismus durch das Signal des Z.s ausgelöst wird. [6]
engl.: counter telescope
franz.: telescope à tube compteur

Zählwerk, elektromechanisches Gerät zur Zählung der Impulse, die ein Strahlungsmeßgerät, z. B. ein Zählrohr, liefert. Z. haben im allgemeinen nur ein kleines zeitliches Auflösungsvermögen (10 bis 50/s). Um höhere Impulsraten zählen zu können, werden Untersetzer verwendet, die die Impulsrate um einen bestimmten Faktor reduzieren. [17]
engl.: register
franz.: numérateur, système numérique de comptage

Zehnerpotenzen

	10^{18}	= Trillion (Trio)
	10^{15}	= Billiarde (Brd)
T Tera-	$= 10^{12}$	= Billion (Bio)
G Giga-	$= 10^{9}$	= Milliarde (Mrd)
M Mega-	$= 10^{6}$	= Million (Mio)
k Kilo-	$= 10^{3}$	= Tausend (Tsd)
h Hekto-	$= 10^{2}$	= Hundert
D Deka-	$= 10^{1}$	= Zehn
	10^{0}	= Eins
d Dezi-	$= 10^{-1}$	= Zehntel
c Zenti-	$= 10^{-2}$	= Hundertstel
m Milli-	$= 10^{-3}$	= Tausendstel
µ Mikro-	$= 10^{-6}$	= Millionstel
n Nano-	$= 10^{-9}$	= Milliardstel
p Pico-	$= 10^{-12}$	= Billionstel

In Amerika und Frankreich ist:
1 Billion = 1 metr. Milliarde $= 10^{9}$
1 Trillion = 1 metr. Billion $= 10^{12}$

Zehntelwert-Schicht ist diejenige Schichtdicke eines Strahlenabsorbers, die die Intensität einer durchtretenden Strahlung auf $^1/_{10}$ des einfallenden Wertes schwächt. Sie ist abhängig von der Geometrie des Strahlenfeldes, der Meßgeometrie und der Energie-

verteilung der Quanten. Da sich beim Durchtritt eines Strahles sämtliche Faktoren (Sekundärstrahlung!) ändern, gilt für einen dicken Absorber nicht in allen Tiefen exakt die gleiche Z.-Sch. Dennoch ist die Z.-Sch. eine praktische Rechengröße, die zur Abschätzung der Absorption in dicken Absorbern der Halbwertsschichtdicke vorzuziehen ist. [16]

engl.: tenth-value-layer

franz.: épaisseur de réduction $^1/_{10}$

Lit.: T. Rockwell, Reactor Shielding Design Manual, US Government Printing Office, 1956.

Zeilenmatrix, s. Spaltenmatrix.

Zeitdiskriminator, Schaltungsanordnung, die entweder die genaue Übereinstimmung des zeitlichen Ablaufes zweier Ereignisse oder Grad und Richtung der Abweichung feststellt. [6]

engl.: time discriminator

franz.: discriminateur de temps

Zeitfaktor, Verhältnis der Strahlendosen, die bei verschiedenen Bestrahlungszeiten bzw. Dosisleistungen erforderlich sind, um unter sonst gleichartigen Bedingungen die gleiche biologische Wirkung hervorzurufen. Als Bezugswert dient hierbei die bei kurzzeitiger einmaliger Bestrahlung erforderliche Dosis. Die zahlenmäßige Angabe eines Z. ist immer nur für eine bestimmte Strahlenwirkung möglich. Der Z. ist 1, wenn die zeitliche Verteilung der Dosis ohne Einfluß auf die Strahlenwirkung ist (z. B. bei Gen-Mutationen). Der Z. ist < 1, wenn bei einer Bestrahlung über einen größeren Zeitraum eine höhere Dosis erforderlich ist als bei Kurzzeitbestrahlung, um die gleiche Wirkung hervorzubringen (häufigster Fall), der Z. ist > 1, wenn die über einen längeren Zeitraum verteilte Gesamtdosis wirksamer ist als die kurzzeitig verabreichte Strahlenmenge. S. a. Dosis-Protrahierung. [28]

engl.: time factor

franz.: facteur de temps, facteur d'intensité

Zeitintegral des Flusses, s. Flußzeit.

Zeitstandfestigkeit, s. Standversuch.

engl.: creep strength depending on time

franz.: résistance aux efforts prolongés

Zeitvorwahl, s. Impulszähler.

Zelle. Der Begriff des Lebens ist an das Vorhandensein einer Struktur gebunden. Die einfachste Struktureinheit ist dabei die Z. Bis hinauf zu den höchstentwickelten Lebewesen des Tier- oder Pflanzenreiches bestehen alle aus einer Anhäufung von Z. Dieselben bilden durch Organisation und besondere Eigenschaften Organe und Organsysteme, die in ihrer Vielfalt den Makroorganismus zusammensetzen.
Ganz allgemein baut sich die tierische und pflanzliche Z. aus dem Protoplasma und dem Zellkern auf. Im Protoplasma finden sich Einschlüsse der verschiedensten Art: Vakuolen und strukturierte Elemente: Mitochondrien und Mikrosomen. Der Zellkern besitzt das sog. Kernkörperchen: Nukleolus. Pflanzliche und tierische Zellen unterscheiden sich besonders dadurch, daß erstere eine Zellulosemembran besitzen. Die tierische Z. ist „nackt". Das Protoplasma bildet lediglich eine makromolekular-strukturierte Zellgrenzschicht. [28]
Lit.: Hdb. d. allg. Pathologie, hrsg. v. F. Büchner, E. Letterer und F. Roulet, Bd. II, 1 und 2, 2. Aufl., Urban u. Schwarzenberg, München-Berlin, 1955.
engl.: cell *franz.: cellule*

Zelle im Reaktor ist jene Region im Reaktor, die sich mehrfach wiederholt. Im einfachsten Fall handelt es sich um einen Brennstoffstab, der vom Moderator bzw. Kühlmittel umgeben ist. Solange die Brennstoffstäbe gleiche Abstände haben, sind die Zellen gleichartig. Der Abstand der Brennstoffstäbe entspricht dem Durchmesser der Zellen. [7]
engl.: cell, reactor cell *franz.: cellule*

Zellen, heiße, Ausdruck zur Bezeichnung strahlgeschützter Räume, in denen stark radioaktive, „heiße" Substanzen fernbedient bearbeitet werden. Der Strahlenschutz richtet sich nach der maximal vorhandenen Aktivität. Er muß so ausgelegt werden, daß das Bedienungspersonal höchstens die maximal zugelassene Strahlungsdosis bei vorgegebener Arbeitszeit erhalten kann. Die Zellenwände pflegt man aus Leicht- oder Schwerbeton, aus Blei oder aus Eisen auszuführen. Die H. Z. werden je nach den Erfordernissen konstruiert. Man unterscheidet: Analytische Zellen, Mehrzweckzellen, Arbeitszellen, metallurgische Zellen, Speicherzellen, Verteilerzellen usw. Für präparative Arbei-

ten mit geringen Aktivitäten genügen oft Isotopenabzüge mit entsprechendem Bleischutz. Als primitivste Fernbedienungsgeräte werden langarmige Zangen und Greifer angewandt. Moderne H. Z. besitzen Manipulatoren, mit denen man sämtliche Arbeiten, die sonst die Hände ausführen, fernbedient durchführen kann, ferner vollautomatische Operationskräne usw.

Einblick in die Zellen gewähren strahlengeschützte Bleiglasfenster (Cer-stabilisiert). Diese können aus einem Stück oder aus Lamellen ausgeführt werden. Für niedrigere Aktivitäten bis zu 100 C werden vor-

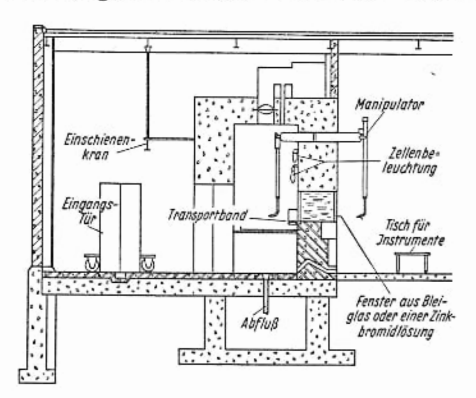


Abb. 1. Grundriß der heißen Zelle

teilhaft sogenannte „Flüssigkeitsfenster", die mit einer gesättigten Zinkbromidlösung gefüllt sind, angewandt. Häufig verwendet man an Stelle von Bleifenstern auch schwenkbare Periskope oder primitive Spiegelanordnungen. In den Zeichnungen ist das Beispiel einer Mehrzweckzelle aus dem Oak Ridge National Laboratory im Schnitt wiedergegeben. Die Zelle ist 2,5 m breit, 2,3 m tief und 2,5 m hoch. Die Zelle ist für eine Strahlung einer 2 MeV-Gamma-Punktquelle von 1 Curie ausgelegt und hat entsprechend einen Betonschutz von 1 m Barytbeton. Das Fenster besteht aus Cer-stabilisiertem Bleiglas mit den Abmessungen $1 \times 0{,}6 \times 1$ [m³]. Zur Zeit werden vornehmlich bei Zellen ähnlicher Bauart die sogenannten Argonne

Model-8-Slave-Master Manipulatoren angewandt. Das Innere der Zelle wird mit starken Fluoreszenzquecksilberlampen hell ausgeleuchtet. In den meisten Fällen ordnet man mehrere Zellen gleicher Bauart in einer Reihe aneinanderstoßend an. Die Zellen werden miteinander mittels kleiner Transportbänder verbunden. Arbeitszellen für Aktivitäten bis zu 500 Curie haben Betonschutzwände von über 2 m Normalbeton. Das Innere der H. Z. pflegt man mit Folien aus Edelstahl oder korrosionsgeschützten Eisenblechen fugenlos auszukleiden. Zusätzliche Aufbringung von abziehbaren Lacken sowie Umhüllung der Manipulatoren und Geräte mit Kunststoffolien hat sich in der Praxis glänzend bewährt. Sehr wesentlich ist eine gute Lüftung der Zellen. Die Zuluft wird dem Operationsraum ent-

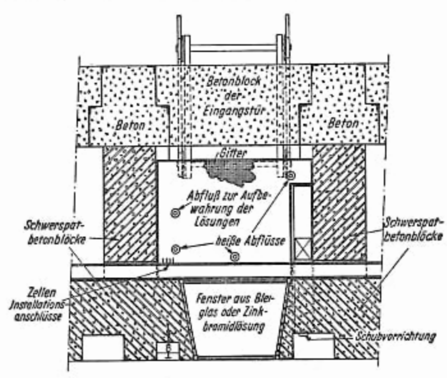


Abb. 2. Schnitt durch eine analytische Mehrzweckzelle

nommen, die Abluft muß extrem filtriert werden, und zwar mit Hilfe von absoluten *Filtern. [22]

engl.: hot cell *franz.: cellules chaudes*

Lit.: Reactor Handbook Vol. VI, „Chemical Processing and Equipment", McGraw-Hill, New York, 1955. – „Hot Laboratory and Equipment Conference", Convention Hall, Philadelphia, Pa.

Zellkern. Der Z. ist neben dem Zytoplasma der Hauptbestandteil einer Zelle. Er besteht aus einer Kernmembran, die als wesentlichen Formbestandteil die Chromosomen umschließt. Die in einem Z. vorhandenen Substanzen sind im wesentlichen Nukleoproteide. Diese bilden die Chromatin-Substanz der Z. Es

sind dies Verbindungen von Eiweiß mit Nukleinsäuren als prosthetische Gruppe, deren Träger die Chromosomen sind. Typisch für die Kernstrukturen ist ihre Anfärbbarkeit mit basischen Farbstoffen. Während im Zytoplasma vorzugsweise Ribosenukleinsäuren lokalisiert sind, enthält der Z. vornehmlich Desoxyribosenukleinsäuren. Durch eine Strahleneinwirkung wird ausschließlich der Aufbau der Desoxyribosenukleinsäuren gehemmt. [28]

franz.: noyau cellulaire, nucléus *engl.: nucleus*

Zellpopulation. Unter einer Z. versteht man die Ansammlung von Zellen. Dabei kann dieselbe ganz locker sein wie z. B. in einer Zellsuspension von Hefezellen oder einer Bakterien-Nährbouillon. Sie kann aber auch organisiert in Form eines Organ oder Gewebes sein. So spricht man z. B. von der Z. eines Tumorgewebes. Dieselbe kann einheitlich sein, wenn es sich bei allen vorliegenden Zellen um die gleichen handelt. Uneinheitlich ist sie dagegen, wenn z. B. Bindegewebsträger das Tumorgewebe durchziehen oder wie bei einem gemischtzelligen Sarkom die Tumorzellen sehr verschieden sind. [28]

engl.: cell population *franz.: amas cellulaire*

Zellteilung. Bei der Vermehrung von Zellen kommt es zur Z. Dieser Vorgang kann ganz allgemein auf zwei verschiedenen Wegen erfolgen. Man unterscheidet amitotische und mitotische Z. oder auch direkte und indirekte Teilung. Bei der amitotischen oder direkten Teilung schnüren sich Zellplasma und Zellkern durch und bilden zwei Tochterzellen. Die mitotische oder indirekte Teilung ist dagegen ein sehr komplizierter Mechanismus. Es kommt zunächst zu einer Isolierung der im Kern befindlichen Chromosomen (Prophase), dann lagern sich die Chromosomen in der Äquatorialebene (Metaphase), die Kernmembran wird aufgelöst, die Polkörperchen und Spindel bilden sich aus. Anschließend wandern jeweils die beiden Chromosomensätze zu den Polkörperchen (Anaphase) und schließlich kommt es dort zur Neubildung des Kernes der Tochterzelle (Telophase). – Der ganze Vorgang der *Mitose ist an komplizierte Stoffwechselvorgänge gebunden. In der Zeit zwischen zwei Mitosen, der sog. Interphase,

bereitet der Kern das Material für die kommende Mitose vor. Die Mitose selbst ist verbunden mit der Verdoppelung der Chromosomengarnitur. Während der Mitose können die verschiedensten Störungen auftreten, die zu Fehlentwicklungen der Tochterzellen führen. [28]

engl.: mitosis *franz.: mitose*

Lit.: Hdb. d. allg. Pathologie, hrsg. v. F. Büchner, E. Letterer und F. Roulet, Bd. II, 1 und 2, 2. Aufl., Urban und Schwarzenberg, München-Berlin, 1955.

Zement entsteht durch Brennen geeignet zusammengesetzter Rohmassen aus Kalk, Kieselsäure, Tonerde und Eisenoxyd und anschließendem Vermahlen der gebrannten Substanz (Zementklinker). Z.e geben mit Wasser angerührt steinartige Massen. Für die normalen Z.e (Portland) gelten die Vorschriften von DIN 1164 bis DIN 1166.

Für Abschirmzwecke wurde eine große Anzahl von Spezial-Z.n entwickelt. Diesen Z.n wurden verschiedene Mineralien zugesetzt um den Gehalt an Fe, B, Mg oder anderen Elementen zu erhöhen. Als Beispiel sind außer dem normalen Portland-Z. noch drei weitere Z.e in der Tabelle aufgeführt. Im allgemeinen wird jedoch zum Bau von Schilden nur Portland-Z. verwendet. [26]

Zusammensetzung verschiedener Zemente in Gewichts-Prozenten

	Portland	Colemanit	Lumit	Aluminium
MgO	0,1–5,5	40,5	1,0	0,1–1,4
SO_3	1,0–3,0	—	0,2	0,2–1,2
SiO_2	17–25	—	9,1	4–10
Al_2O_3	3–8	—	42 (+TiO_2)	35–44
$FeO + Fe_2O_3$	0,5–6,0	—	10,3	1–20
CaO	60–67	—	36,8	36–44
Colemanit	—	40,5	—	—
$MgCl_2$	0,5–1,5	19	—	—
$N_2O + K_2O$	—	—	—	0,1–1,0

engl.: cement *franz.: ciment*

Lit.: Reactor Shielding Design Manual, McGraw-Hill, New York, 1956. – B. T. Price, C. C. Horton u. K. T. Spinney, Radiation

Shielding, Pergamon Press, London, 1957. – T. Rockwell, AECD 3352 (1950). – A. E. Pavlish et al., AECD 3007 (1948). – M. J. Snyder et al., AECD 3004 (1949).

Zentralinstitut für Kernphysik in Rossendorf bei Dresden, gegründet Ende 1955 durch Beschluß des Ministerrats der DDR und dem Amt für Kernforschung und Kerntechnik in Berlin unterstellt. Direktor des Instituts ist Prof. Dr. Heinz Barwich. Arbeitsgebiete: Reaktortechnik und Neutronenphysik, kernphysikalische Grundlagenforschung, Radiochemie, Werkstoffe und Festkörper, Dosimetrie und Strahlenschutz. Der Forschungsreaktor des Instituts und das zugehörige Gebäude mit Betriebs- und Laborräumen wurde nach sowjetischer Dokumentation errichtet. Der Reaktor wurde am 14. 12. 1957 kritisch, er besitzt eine thermische Leistung von 2000 kW und einen maximalen Neutronenfluß von $2 \cdot 10^{13}$ n/cm^2 s. Als Moderator und Kühlmittel dient destilliertes Wasser, die stabförmigen Brennstoffelemente enthalten 10 % angereichertes Uran. Für experimentelle Zwecke stehen u. a. zur Verfügung: neun horizontale Strahlrohre, eine herausziehbare thermische Säule, mehrere vertikale Kanäle zur Isotopenerzeugung. Unmittelbar mit dem Reaktor verbunden ist ein heißes Laboratorium mit vier Zellen zur Bearbeitung bestrahlter Materialien und verbrauchter Brennstoffelemente (bis zu 20 kC). Ebenfalls nach sowjetischer Dokumentation und mit sowjetischen Ausrüstungen wurde ein Zyklotron mit zugehörigem Betriebs- und Laborgebäude errichtet. Das Gerät hat einen Polschuhdurchmesser von 1,20 m und beschleunigt Alphateilchen auf 25 MeV. Außer den genannten Gebäuden wurde Ende 1957 ein kleineres Laborgebäude für radiochemische Untersuchungen in Betrieb genommen. Weitere physikalische und chemische Laboratorien, ein Bibliotheksgebäude usw. befinden sich im Bau.

Die Gesamtbelegschaft des Instituts wird im Jahre 1958 auf etwa 500 Mitarbeiter anwachsen. Zur Technischen Hochschule Dresden, insbesondere der Fakultät für Kerntechnik bestehen enge Beziehungen. Unter anderem stellt das Z. f. K. Gastlaboratorien am Reaktor zur Verfügung. [11]

Zentrifuge (oder Schleuder) ist die zum *Zentrifu-

Zentrifuge

gieren benutzte Maschine. Ihre Grundform richtet sich danach, ob Flüssigkeiten getrennt oder Feststoffe aus einer Flüssigkeit ausgeschieden werden sollen. Während zur ersteren Aufgabe sog. Trommelzentrifugen (Separatoren) mit Einsatztellern (zur wirbelfreien Flüssigkeitsführung) verwendet werden, dienen der letzteren Aufgabe Vollmantel- bzw. Sieb- oder Filterzentrifugen. Die Kennzahlen liegen zwischen $200 < \mathfrak{Z} < 4000$. Das Streben der Konstrukteure geht dahin, den Schleuderprozeß stetig auszuführen, die Z. also stetig zu beschicken und die getrennten Stoffe stetig zu entnehmen. Während das bei der Flüssigkeitstrennung

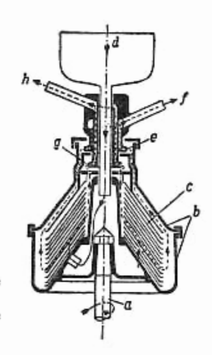


Abb. 1. Separator (nach Ullmann)
a Antrieb
b, c Teller
d Zulauf
e Schälscheibe für schwere Komponente
f Ablauf der schweren Komponente
g Schälschale der leichten Komponente
h Ablauf der leichten Komponente

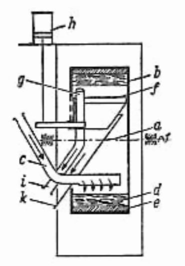


Abb. 2. Vollmantelzentrifuge
a Welle
b, c Gemischaufgabe
d Flüssigkeit
e Schlamm
f Schälmesser
g Schälrohr
h Antrieb für *g*
i Flüssigkeitsaustritt
k Feststoffaustrag

(Separator) keine Schwierigkeiten macht, muß bei Z.n zur Feststoffabtrennung mancher Kunstgriff angewendet werden, um den abgesetzten Feststoff kontinuierlich entnehmen zu können. Eine weit verbreitete

Methode ist die Anwendung eines Schälmessers, welches fortlaufend aus einer Vollmantelzentrifuge den abgesetzten Stoff herausschabt ähnlich wie das Schälmesser beim Trommelfilter (s. Filtrieren). Der Betrieb mit wechselnden Drehzahlen und der hohen Beschleunigungs- und Bremsarbeit stellt mancherlei schwierige konstruktive Aufgaben. Die Entwicklung von Z.n stützt sich i. a. auf Modellversuche (Laborzentrifugen mit auswechselbarer Ausrüstung). S. a. Gaszentrifuge. [2]

engl.: centrifuge *franz.: essoreuse, centrifugeuse*

Zentrifugieren, auch Schleudern genannt, ist ein *Grundverfahren der mechanischen Stofftrennung, welches dem Absetzen (Sedimentieren) und der Filtration dadurch überlegen ist, daß die Schwerkraft durch die Zentrifugalkraft ersetzt wird. Es dient also ebenfalls der Trennung von Flüssigkeiten und Feststoffen, die gemischt (Suspension) vorliegen oder der Trennung nicht mischbarer (nicht ineinander löslicher), jedoch ineinander emulgierter oder emulgierbarer Flüssigkeiten (Trennung von Milch und Sahne). Die Größe der Zentrifugalkraft wird durch den Halbmesser des Zentrifugengefäßes r und seine Drehzahl n bestimmt. Man faßt sie in der „Zentrifugenkennzahl" (ähnlich der Froude-Kennzahl Fr und der Siebkennziffer Z, s. Sieben) zusammen: $\mathfrak{z} = r/g \cdot (\pi\, n/30)^2 \approx r \cdot n^2/100$. Sie sagt aus, um welchen Faktor das Z. wirksamer ist als die Trennung durch Einwirkung der Erdbeschleunigung g. In den technischen Schleudervorgängen sind noch die Schichtdicke der Flüssigkeit, ihre Zähigkeit (und damit also die Temperatur: Heißschleudern), der Dichteunterschied zwischen den zu trennenden Stoffen, bei Feststoffsuspensionen die Körnung und die Strömungsvorgänge (wirbelfreies Fließen) zu berücksichtigen. Die anwendbare Umfangsgeschwindigkeit wird durch die Werkstoff-Festigkeit begrenzt. Es ist vorteilhafter, die Drehzahl hoch und den Durchmesser klein zu halten. [2]

engl.: centrifuging operation

franz.: centrifuger

Lit.: Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, 3. Aufl., München-Berlin, 1951, Bd. 1: Chemischer Apparatebau und Verfahrenstechnik.

Zerfall, radioaktiver (auch Atomzerfall, Kernzerfall), die Tatsache, daß sich die radioaktiven Kerne von selbst und nach einem ganz bestimmten zeitlichen Zerfallsgesetz unter Aussendung von Strahlen in andere Kerne umwandeln. Näheres s. Radioaktivität. [1]
engl.: radioactive disintegration
franz.: désintegration radioactive

Zerfallsanalyse, s. *Abfallanalyse.

Zerfallselektron ist ein solches Elektron, das aus dem Zerfall eines anderen Teilchens, in der Regel eines *μ-Mesons, hervorgeht. Im Strahlengewirr der kosmischen Strahlung weisen die Z.n gewisse gemeinsame Züge auf; s. Elektronenkomponente. [7]
engl.: decay electron
franz.: électron de désintégration

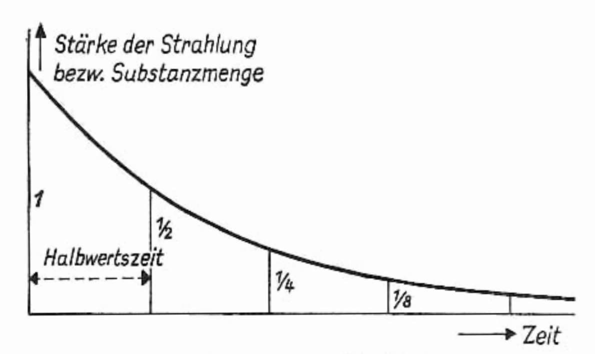
Zerfallsenergie, die bei einer spontanen (radioaktiven) Kernumwandlung frei werdende Energie. Sie geht überwiegend in die bei der Umwandlung ausgesandte Strahlung über, bei γ-Strahlung praktisch ganz. Bei β-Strahlung verteilt sie sich im wesentlichen auf das β-Teilchen und das nicht direkt in Erscheinung tretende, gleichzeitig ausgesandte Neutrino, so daß die β-Teilchen alle Bewegungsenergien zwischen Null und der Z. haben können. Bei α-Strahlung geht nach dem Impulssatz ein merklicher Bruchteil der Z. auf den durch Rückstoß weggestoßenen Restkern über.
Die Z. der Atomkerne liegt zwischen einigen hundertstel MeV und rund 9 MeV (größte Z. der natürlich radioaktiven: Thorium C′ mit 8,948 MeV). [1]
engl.: disintegration energy
franz.: énergie de désintégration

Zerfallsgesetz, das Gesetz des zeitlichen Verlaufs des radioaktiven Zerfalls. Sind von einer reinen, radioaktiven Substanz in einem bestimmten Augenblick M Gramm vorhanden, so wandelt sich in dem anschließenden Zeitelement $\mathrm{d}t$ die Menge $M\,\lambda\,\mathrm{d}t$ um, wo λ die *Zerfallskonstante bedeutet. Hieraus folgt, daß eine ursprünglich vorhandene Menge M_0 nach dem Exponentialgesetz

$$M = M_0\,\mathrm{e}^{-\lambda t}$$

abnimmt. In der Zeit $1/\lambda$, der „mittleren *Lebens-

dauer", nimmt die Menge jeweils auf $1/e = 0{,}36788$ ab, in der Zeit $\ln 2/\lambda$, der *Halbwertszeit, jeweils auf die Hälfte. Nach der ein-, zwei-, drei- usw. fachen Halb-



wertszeit ist demnach noch $^1/_2$, $^1/_4$ $^1/_8$ usw. der ursprünglichen Menge vorhanden (s. Abb.). Im selben Verhältnis wie die Menge sinkt auch die Intensität der Strahlung ab.

Liegt die radioaktive Substanz nicht rein vor, sondern gemengt mit einer anderen, aus der sie nachgebildet wird, so ist natürlich der zeitliche Verlauf sehr viel komplizierter, da jetzt eine Überlagerung der Abnahme durch Zerfall und der Zunahme durch Nachbildung stattfindet, welche unter Umständen (im radioaktiven *Gleichgewicht) zu einer zeitlichen Konstanz der Menge führen kann. [1]

engl.: decay law

franz.: loi de décroissance

Zerfallsgesetz für Zerfallsreihen. In einer *Zerfallsreihe hängt die Menge $N_i(t)$ eines radioaktiven Isotops zur Zeit t von der Menge $N_{i-1}(t)$ des Mutter-Isotops nach der Gesetzmäßigkeit

$$N_i(t) = \left[N_{io} + \lambda_{i-1} \int_0^t e^{\lambda_i t'} N_{i-1}(t')\, dt' \right] e^{-\lambda_i t}$$

ab. Mit λ wurden die entsprechenden *Zerfallskonstanten bezeichnet, während die Null auf die zur Zeit $t = 0$ vorhandene Menge hinweist. Man kann N_{i-1} durch

eine analoge Formel aus N_{i-2} bestimmen usf. bis an den Anfang der Zerfallsreihe. Auf diese Weise ergibt sich das „kinetische Gesetz“ der Zerfallsreihe. Besteht diese speziell aus zwei Stoffen, so ist

$$N_2(t) = N_{20}\, e^{-\lambda_2 t} + \frac{N_{10}\,\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}\,(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}).$$

Ist die Muttersubstanz langlebig ($\lambda_1 < \lambda_2$), so ist

$$N_2 = N_{10}\,\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\,(1 - e^{-\lambda_2 t})$$

und nach hinreichend langer Zeit stellt sich das radioaktive *Gleichgewicht ein: $N_1\,\lambda_1 = N_2\,\lambda_2$. Ist die Tochtersubstanz stabil ($\lambda_2 \to 0$), so gilt

$$N_2 = N_{20} + N_{10}(1 - e^{-\lambda_1 t})$$

und der Endzustand lautet $N_2 = N_{20} + N_{10}$. [13]
engl.: disintegration law
franz.: loi de désintégration

Zerfallskonstante, die Konstante λ im Exponentialgesetz des radioaktiven Zerfalls (s. Zerfallsgesetz):

$$M = M_0\, e^{-\lambda t},$$

nach welchem die Menge und die Strahlungsintensität eines reinen, radioaktiven Stoffes abnimmt.
Da hiernach im Zeitelement dt der Bruchteil $\lambda\, dt$ der jeweils vorhandenen Menge sich umwandelt, hat die Z. auch die Bedeutung der Wahrscheinlichkeit dafür, daß ein bestimmter, radioaktiver Kern sich innerhalb einer Sekunde umwandelt. Mit der *Halbwertszeit T steht die Z. in der Beziehung:

$$\lambda = \ln 2/T = 0{,}693/T,$$

während die reziproke Z., die Zeit $1/\lambda$, auch als „mittlere *Lebensdauer“ bezeichnet wird. [1]
engl.: decay constant
franz.: constante de désintégration

Zerfallskurve, die zeitliche Abhängigkeit der Aktivität eines radioaktiven Präparates. Aus der Z. kann die Halbwertszeit bestimmt werden. Dadurch kann man radioaktive Isotope identifizieren, wenn nicht

gleichzeitig Substanzen mit Halbwertszeiten, die in der gleichen Größenordnung liegen, vorhanden sind. [17]
engl.: decay curve
franz.: courbe de désintégration

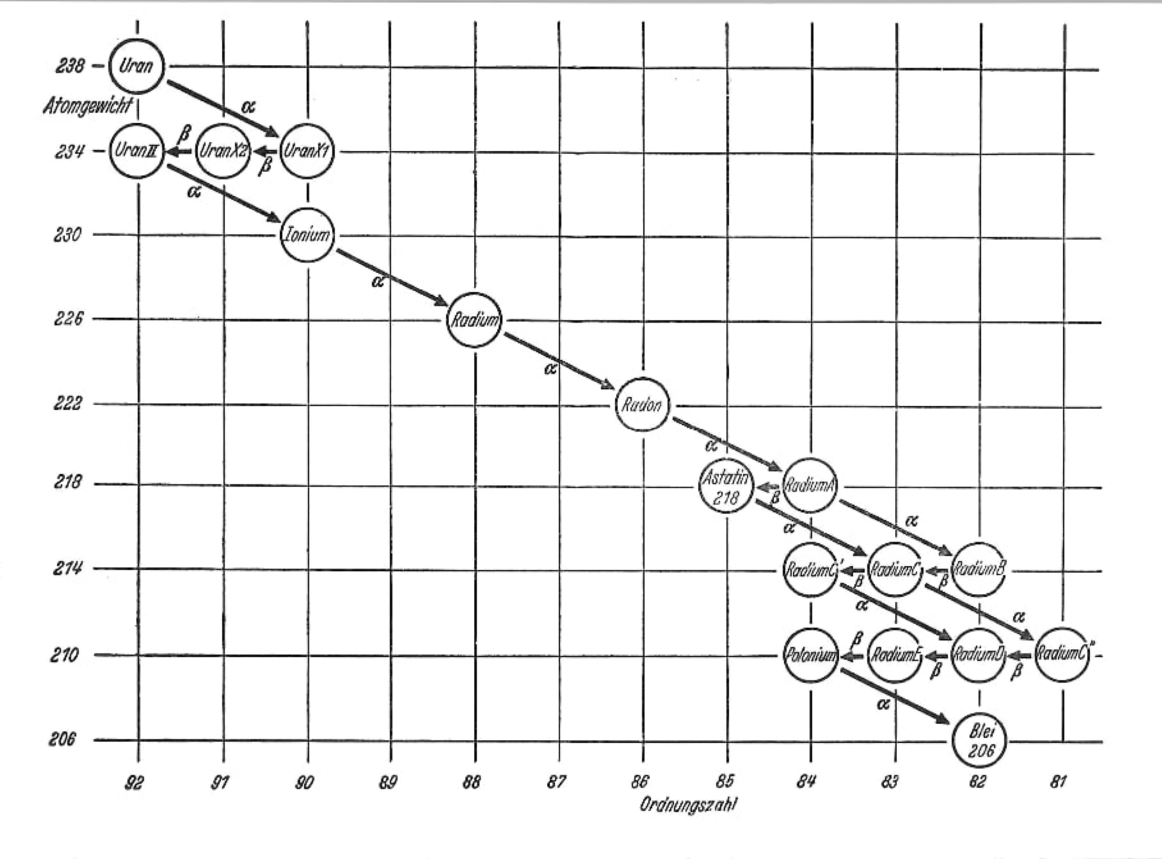
Zerfallsreihen, radioaktive (auch Stammbaum, Stammreihen, radioaktive), die Folge von radioaktiven Stoffen, welche durch sukzessiven radioaktiven *Zerfall auseinander hervorgehen (s. a. Radioaktivität). Jede Z. beginnt mit einer „Muttersubstanz" und endigt mit einem nichtradioaktiven, stabilen Kern. Im engeren Sinn des Wortes beschränkt man sich auf den natürlichen radioaktiven Zerfall.

Schon lange sind drei r. Z. bekannt, die vom Uran 238 ausgehende Uran-Radium-Reihe, welche mit dem inaktiven Bleiisotop der Massenzahl 206 endet ($(4\,n+2)$-Reihe), die vom Aktinouran (dem als Atomsprengstoff bekannt gewordenen Uranisotop 235) ausgehende Uran-Aktinium-Reihe ($(4\,n+3)$-Reihe) und die vom Thorium 232 ausgehende Thoriumreihe ($(4\,n+0)$-Reihe). Auch die beiden letzteren enden bei inaktiven Bleiisotopen der Massenzahlen 207 und 208.

Die Abb. zeigt in einem Zerfallsschema den Verlauf der Uran-Radium-Reihe.

Neuerdings kennt man noch eine vierte r. Z., die von dem künstlich erzeugten Neptunium-Isotop $^{237}_{93}\mathrm{Np}$ (bzw. schon von dem Einsteiniumisotop $^{249}_{99}\mathrm{Es}$) ausgeht und mit einem instabilen Wismutisotop der Massenzahl 209 endet ($(4\,n+1)$-Reihe). Die Lebensdauern der Kerne dieser Reihe sind durchweg kurz, so daß ihre Identifizierung schwierig war. Damit sind alle denkbaren natürlich-radioaktiven Z. bekannt. Sie lassen sich durch die Formel $(4\,n+i)$ beschreiben ($i=0,1,2,3$). Verschiedenes i kennzeichnet die r. Z., verschiedenes n bei festem i die Massenzahlen der Kerne in einer Reihe. Die Formel beruht darauf, daß beim radioaktiven Zerfall entweder ein α-Teilchen (Verkleinerung der Kernmasse A um 4 ME) oder ein β-Teilchen (keine Änderung von A) emittiert wird.

Wenn man künstlich radioaktive Zerfälle in die Betrachtung einbezieht, so ist auf eine große Anzahl kürzerer und längerer r. Z. hinzuweisen, die die primä-


Atomgewicht
238
234
230
226
222
218
214
210
206
Ordnungszahl
92
91
90
89
88
87
86
85
84
83
82
81
Uran
Uran II
Uran X1
Uran X2
Ionium
Radium
Radon
Radium A
Astatin 218
Radium B
Radium C
Radium C'
Radium C''
Radium D
Radium E
Polonium
Blei 206
α
β

ren Spaltprodukte einer Kernspaltung zum Ausgangspunkt haben. Hier kommen lediglich β^--Zerfälle vor. Beispiele s. u. Neutronen, verzögerte. [1]

engl.: decay series

franz.: serie de désintégration

Lit.: W. Riezler, Kernphysik, 6. Aufl., Oldenbourg, München, 1958. – O. Hahn, Künstliche neue Elemente, 2. Aufl., Verlag Chemie, Weinheim, 1948.

Zerfallsweg ist diejenige Strecke, die ein instabiles Teilchen von seiner erstmaligen Beobachtung bis zu seinem Zerfall zurücklegt. [7]

engl.: decay path *franz.: parcours de vie*

Zerfallszeit ist identisch mit der *Lebensdauer eines Kerns oder Teilchens. [7]

engl.: decay time *franz.: vie*

Zerkleinerung dient der Zerteilung von Feststoffen (Z. von Flüssigkeiten nennt man *Zerstäuben, von Gasen Verschäumen; physikalisch gelten dieselben Gesetzmäßigkeiten wie bei der Z. von Feststoffen), um eine bestimmte Körnung zu gewinnen oder um die Oberfläche mit dem Ziel zu vergrößern, die Reaktionsbedingungen des Feststoffes mit anderen Reaktionspartnern zu verbessern (*Lösen, *Adsorption, Verbrennungsgeschwindigkeit, *Laugen). Infolgedessen gibt es kaum einen Verarbeitungsprozeß, bei dem nicht in irgendeiner Form die Z. meist als erste Stufe in der Kette der Verfahrensschritte (vgl. Grundverfahren, Fließbild) angewendet wird. Meist ist die vorangehende Z. überhaupt die entscheidende Voraussetzung für die Durchführung eines Verarbeitungsprozesses (Erzzerkleinerung bei der *Urangewinnung). Die Korngrößen der technisch angewendeten Z. liegen zwischen 0,01 mm (Feinzerkleinerung) und 10 mm (Grobzerkleinerung), überdecken also einen Bereich von drei Zehnerpotenzen. In besonderen Fällen werden diese Grenzen aber noch nach oben oder unten überschritten. Wenn man von der Zerteilung eines Würfels als Modellvorstellung ausgeht, sieht man leicht, daß mit Verkürzung der Kantenlänge um den Faktor 10 die Zahl der Körner um den Faktor 10^3, die Oberfläche ebenfalls um den Faktor 10 ansteigt. Ein Würfel mit 1 cm Kantenlänge, der 6 cm^2 Oberfläche hat, ergibt bei der Z. auf Würfelchen von 1 μ Kantenlänge bereits 10^{12}

Körner mit einer Gesamtoberfläche von 6 m²! Im Bereich feiner Zerteilungen treten Stoffeigenschaften hervor, die bei grobstückigem Gut nicht zu bemerken sind (Oberflächenenergie; G i b b sche Anreicherung). Z. bedeutet also Vergrößern der Oberfläche und damit der Oberflächenenergie. Diese Arbeit muß also mindestens bei der Z. zugeführt werden (sie ist aus physikalischen Daten berechenbar). Sie macht aber nur einen kleinen Teil (etwa 1 %) der tatsächlich aufzuwendenden physikalischen Zerkleinerungsarbeit aus, deren weitaus größerer Teil aus Formänderungs- und Reibungsarbeit besteht. Maßgebend wird die Brucharbeit nicht durch die molekulare Zerreißspannung, sondern durch den Einfluß der „Kerbstellen" im Festkörper bestimmt (Bruchtheorie von S m e k a l), weil jeder Festkörper inhomogen ist. Da bei jedem Bruch die gerade wirksamste Kerbstelle ausgeschaltet wird, weil von ihr der betrachtete Bruch ja ausgeht, nimmt die Wirksamkeit der Kerbstellen mit fortschreitender Z. ab und mithin nimmt die bezogene Brucharbeit zu. Der Kerbstellenabstand (0,1 ... 1 μ bei Quarz) bestimmt letzten Endes die untere Grenze der erzielbaren kleinsten Korngröße. Die technische, auf ein Kornhaufwerk bezogene Zerkleinerungsarbeit ist etwa 10mal größer als die auf ein Einzelkorn bezogene physikalische Z.-Arbeit, weil hier noch die Maschinenverluste und diejenige Verlustarbeit hinzukommt, die bei der Übertragung der zugeführten Energie auf das im Kollektiv befindliche Einzelkorn entsteht. Mithin liegt der Wirkungsgrad, bezogen auf die Oberflächenenergie, bei technischen Z.-Vorgängen in der Größenordnung von 0,1 %! Das ist von Bedeutung, wenn man beachtet, daß der Weltenergiebedarf für Z.-Arbeit auf $100 \cdot 10^9$ kWh geschätzt wird. Der Z.-Vorgang ergibt niemals eine einzige definierte Korngröße, sondern stets ein Korngrößenspektrum, dessen Verteilung durch die Funktion $R = 100 \cdot e^{-(d/d')n}$ (s. Körnung) in weiten Bereichen dargestellt werden kann. – Die Bauformen der Zerkleinerungsmaschinen sind äußerst vielfältig. Sie werden durch die Eigenschaften des Mahlgutes (Sprödigkeit, Plastizität,

 Feuchtigkeitsgehalt, geometrische Abmessungen, Festigkeit), durch die gewünschte Körnung und die Men-

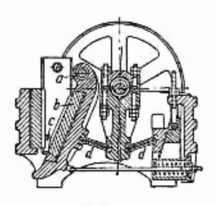


Abb. 1.
Backenbrecher

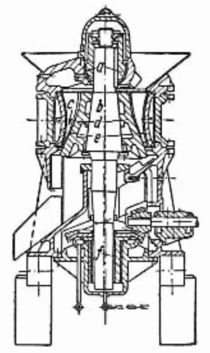


Abb. 2. Symonsbrecher
a Lager
b, c Brechspalt
d Brechkegel
e Brechmantel
f exzentr. Lager

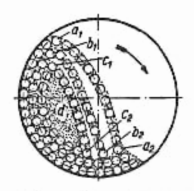


Abb. 3. Kugelbewegung
in einer Rohrmühle
a, b, c Wurfbahnen
d Umkehrpunkt

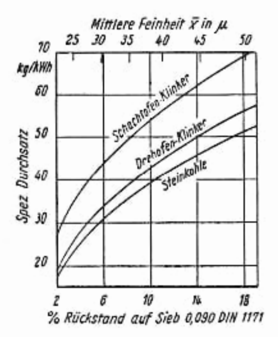


Abb. 4. Mahlfeinheit und
Durchsatz einer Rohrmühle

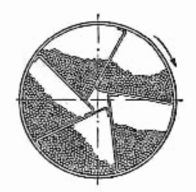


Abb. 5. Concentra-Einsatz
(nach Krupp-Gruson)

genleistung bestimmt. Eine Systematik der Z.-Maschinen kann nach verschiedenen Gesichtspunkten aufgebaut werden. Zum Beispiel nach ihrer Drehzahl als Langsam- ($n < 400$), Mittelschnell- ($n < 1000$) und Schnelläufer ($n > 1000$) oder nach dem Z.-Grad:

Vorbrechen, Schroten, Feinmahlen und Feinstmahlen. Einige kennzeichnende Bauformen sind Backen- und Kreiselbrecher zum Vorbrechen als Langsamläufer, Symons-Granulatoren und Walzenmühlen als mittelschnelle Schrotmühlen, Kugel- und Rohrmühlen als Langsam- und Schlagmühlen als Schnelläufer zum Feinmahlen, Walzenmühlen als Langsam- und Schwing-

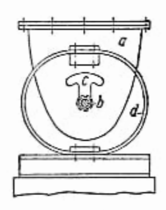


Abb. 6. Schwingmühle (Bauart Siebtechnik)

mühlen als Schnelläufer zum Feinstmahlen. Schließlich wäre noch als kennzeichnendes Merkmal die Möglichkeit zu erwähnen, daß bereits in der Mühle Siebvorrichtungen (vgl. Sieben) eingebaut werden können. Sie sorgen dafür, daß die Körner, deren Größe noch

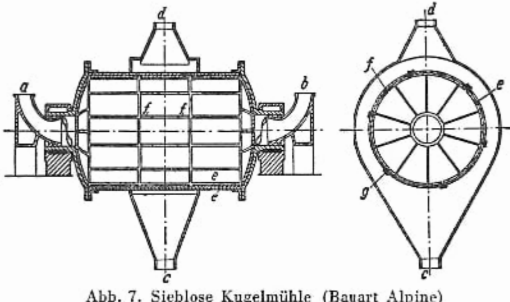


Abb. 7. Sieblose Kugelmühle (Bauart Alpine)
a Einlauf
b Grießrücklauf
c Mahlgutaustritt
d Entlüftung
e Panzerplatten
f Längsschlitze
g Einstellschlitze

über der vorgeschriebenen liegt, zurückgehalten und solange immer wieder dem Mahlwerk zugeführt werden, bis sie auf die vorgeschriebene höchstzulässige Größe zerkleinert sind. Zur Vorherbestimmung der zu wählenden Mühlenform und -größe können der spezifische Mahlwiderstand und die Mahlbarkeit der zu

zerkleinernden Stoffe in speziell hierfür ausgebildeten Modellmühlen laboratoriumsmäßig gemessen werden. [2]

engl.: crushing, grinding

franz.: broyage (fractionnement)

Lit.: C. Mittag, Hartzerkleinerung, Berlin, 1953. – C. Mittag, Der spezifische Mahlwiderstand, Berlin, 1925. – Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, 3. Aufl., München-Berlin, 1951, Bd. 1: Chemischer Apparatebau und Verfahrenstechnik (dort zahlreiche weitere Literaturhinweise). – A. Smekal, Theoretische Grundlagen der Zerkleinerungstechnik, Z. VDI, Beihefte Verfahrenstechnik (1937) 1/4. – C. E. Berry, Modern Machines for Dry Size Reduction, Ind. Eng. Chem. 38, S. 672, 1946.

Zerstäuben ist die *Zerkleinerung von Flüssigkeiten, d. h. die Aufspaltung einer zusammenhängenden Flüssigkeitsmenge in Tropfen. Sie dient der Verbesserung der Reaktionsbedingungen durch Oberflächenvergrößerung (Brennstoff-Z. in Ölbrennern, Milch-Z. zur Gewinnung von Milchpulver durch Trocknung) oder der gleichmäßigen Verteilung einer Flüssigkeit (Berieselung von Wasch-, Extraktions- und *Füllkörpersäulen). Auch hierbei entsteht keine einheitliche Tropfengröße, sondern eine statistische Tropfengrößenverteilung, die sich i. a. im Rosin-Rammler-Diagramm (vgl. Körnung) darstellen läßt (Tropfengrößenmessung z. B. durch Modellversuch: Flüssiges Paraffin wird zerstäubt und die Tropfen werden in kaltem Wasser aufgefangen und erstarren infolgedessen kugelförmig, so daß sie einer Siebanalyse oder einer mikroskopischen Auszählung zugänglich sind). Grundsätzlich sind drei Methoden zum Z. üblich:

1. Druckzerstäubung. Hier preßt man die Flüssigkeit unter hohem Druck (1 bis 10 at) aus Düsen mit geeignet gewählten hydrodynamischen Störungen (sog. „Drall"-Einbauten) heraus.

2. Druckluftzerstäubung. Hier führt man der Düse nach Art einer Blumenspritze Luft unter geeignetem Druck und die zu zerstäubende Flüssigkeit selbst zu. Letztere kann bei geeigneten Bedingungen von der Zerstäubungsluft (1 bis 10 at) angesaugt werden. Als Zerstäubungsmittel wird anstatt Luft oft auch Wasserdampf (Ölbrenner) oder ein organischer Stoff mit niedriger Siedetemperatur (Aerosol-Zerstäubung mittels Frigenzusatz zur Flüssigkeit

in geschlossenen Behältern: Schädlingsbekämpfungsmittel, Kosmetik) angewendet. Luftbedarf ein Vielfaches (Faktor 10^2) des Volumens der zu zerstäubenden Flüssigkeit.

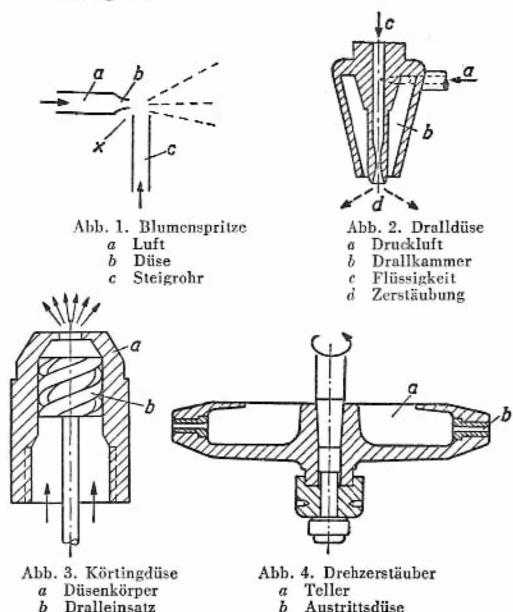


Abb. 1. Blumenspritze
a Luft
b Düse
c Steigrohr

Abb. 2. Dralldüse
a Druckluft
b Drallkammer
c Flüssigkeit
d Zerstäubung

Abb. 3. Körtingdüse
a Düsenkörper
b Dralleinsatz

Abb. 4. Drehzerstäuber
a Teller
b Austrittsdüse

3. **Zentrifugalzerstäubung.** Die Flüssigkeit wird einem rotierenden Gefäß oder einer rotierenden Scheibe axial zugeführt und von deren Rand durch die Zentrifugalkraft abgeschleudert. Dabei „zerreißt" die Flüssigkeit in Tropfen, deren Größe u. a. von der Drehzahl oder richtiger von der Umfangsgeschwindigkeit der Scheibe abhängt. [2]

engl.: spray *franz.: atomiser*

Lit.: Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, 3. Aufl., München-Berlin, 1951, Bd 1: Chemischer Apparatebau und Verfahrenstechnik. – J. H. Perry, Chemical Engineers Handbook, 3. Aufl., New York, 1941.

Zerstrahlung bezeichnet die Überführung materieller Energie in Feldenergie. Am längsten bekannt ist, daß ein Elektron und ein Positron unter Emission eines

Lichtquants verschwinden können (*Paarvernichtung). 1956 wurde nachgewiesen, daß auch ein Proton mit einem Antiproton oder ein Neutron mit einem Antineutron, zerstrahlen. [7]

engl.: annihilation *franz.: annihilation*

Zertrümmerungsstern, s. Kernexplosion und Stern.

Ziehen. Verfahren der spanlosen Formgebung (Kalt- und Warmverformung), meist zur Drahtherstellung, bei welchem der Querschnitt gepreßter oder gewalzter Stangen durch Z. durch Ziehdüsen schrittweise vermindert wird. [4]

engl.: drawing *franz.: étirage*

Zielaufnahmen haben den Zweck, eine bestimmte Bewegungsphase eines Organs festzuhalten. Das ist besonders bei der Röntgen-Untersuchung innerer Organe, wie Magen-Darm, Nieren, Bronchien, Galle etc. erforderlich. Zu diesem Zweck wurden besondere *Zielgeräte entwickelt. [28]

Zielgerät, besonderes Zusatzgerät für Röntgen-Diagnostik-Apparate für Zielaufnahmen.

Sie besitzen außer dem Leuchtschirm mit Bleiglas-Schutzscheibe, dem Streustrahlen- und dem Hustenschutz eine Hochspannungs-Schalt-Vorrichtung, eine verschiebbare Kassettenhalterung mit speziellem Transportmechanismus und Bleischutz für die Kassette sowie einen Bewegungsantrieb für die Feinrasterblende.

Die Schaltvorrichtung ermöglicht, vom Durchleuchtungsplatz aus direkt die Schaltungen „Durchleuchtung", „Aus" und „Aufnahme" vorzunehmen.

Die Kassettenhalterung mit speziellem Transportmechanismus und Bleischutz ermöglicht, daß die Kassette schon vor der Durchleuchtung bzw. der Untersuchung eingesetzt werden kann und so jederzeit für den Untersucher in Bereitschaft ist. Dabei kann der ganze Film auf einmal belichtet werden oder aber jeweils nur Teile in sog. Serienaufnahmen. Zu diesen Serienaufnahmen kann noch ein besonderer auswechselbarer Tubus verwendet werden, der eine gleichzeitige Kompression des Objektes (z. B. Magen) ermöglicht.

Die Feinrasterblende wird während der Aufnahme durch einen Motor oder eine Feder bewegt, so daß keine Abbildung des Rasters erfolgt. [28]

Zink (Zn). Schwermetall mit der Dichte 7,1; Ordnungszahl 30, Atomgewicht 65,4. Schmelzpunkt 419,5 °C, Siedepunkt 906 °C. Absorptionsquerschnitt für thermische Neutronen $\Sigma_a = 0{,}065$ cm^{-1}. Kristallstruktur: hexagonal dichteste Kugelpackung.
Reines Z. ist ein weiches Metall, das an der Luft eine vor weiterer *Korrosion schützende Schicht aus Z.-Karbonat bildet. Aus diesem Grund wird Z. häufig zu Schutzüberzügen für andere Metalle (z. B. Eisen) verwendet. Technische Z.-Legierungen enthalten meist Aluminium und Kupfer. [4]
engl.: zinc *franz.: zinc*

Zink 65 und 69 werden in der Elektrochemie und Metallurgie oftmals als *Leitisotope benutzt. ^{65}Zn gewinnt man durch Bestrahlung des natürlichen Zinks mit langsamen Neutronen über die Reaktion ^{64}Zn (n, γ).
^{69}Zn ist sowohl im Grundzustand als auch in einem angeregten Zustand radioaktiv. Zum ^{69}Zn führen zwei Reaktionen: Bestrahlung von ^{68}Zn mit langsamen Neutronen: ^{68}Zn (n, γ) und Bestrahlung von Gallium mit schnellen Neutronen: ^{69}Ga (n, p).
Strahlungsarten:

Isotop:	^{65}Zn	^{69}Zn*	^{69}Zn
Halbwertszeit:	250 Tage	13,8 Std.	51 Min.
Betastrahlen:	—	—	0,9 MeV
Gammastrahlen:	1,11 MeV	0,44 MeV	—
Positronenstrahlen:	0,32 MeV	—	—
Konversionselektr.:	98 %	6 %	—

[16]

Zinksulfid, chemische Verbindung, die in kristallisierter Form Fluoreszenz zeigt und als Szintillator zur Messung von α-Strahlen Verwendung findet. Durch Einbau von Schwermetallatomen in das ZnS-Gitter wird die Verbindung phosphoreszierend (s. Sidotblende). [3]
engl.: zinc sulfide *franz.: sulfure de zinc*

Zinn (Sn). Metall mit der Dichte 7,3; Ordnungszahl 50, Atomgewicht 118,7. Schmelzpunkt 231,9 °C, Siedepunkt 2270 °C. Absorptionsquerschnitt für thermische Neutronen $\Sigma_a = 0{,}020$ cm^{-1}. Kristallstruktur: Kubisch Diamantstruktur (unterhalb 13,2 °C), tetragonal raumzentriert (oberhalb 13,2 °C).
Z. ist ein weiches Metall mit geringer Festigkeit. Die

Zinn (Sn) allotrope Umwandlung von tetragonalem (weißem) Z. in die kubische (graue) Modifikation führt wegen der großen Volumdifferenzen der beiden Modifikationen zur Zerstörung eines Werkstückes aus Z. (Zinnpest); diese Umwandlung findet praktisch erst statt, wenn das Werkstück längere Zeit Temperaturen von 0 °C und darunter ausgesetzt ist. – Z. wird hauptsächlich für Schutzüberzüge (Weißblech) verwendet. Legierungen des Z.s finden Verwendung als Weichlote (*Löten) und Lagermetall (Z.-Blei), als Bestandteil von niedrigschmelzenden Legierungen wie z. B. Woods-Metall (Schmelzpunkt 60 °C) und als Z.-*Bronze (Kupfer-Z.).

Die Sn-Isotope der Masse 113 und 121 werden in der Isotopentechnik als Leitisotope benutzt. Da das natürliche Sn etwa 10 verschiedene Isotope besitzt, entstehen bei der Neutronenaktivierung außer ^{113}Sn und ^{121}Sn verschiedene radioaktive Isotope, wie folg. Tabelle zeigt.

Isotop	Erzeugung	rad. Verunreinigung	Strahlung
^{113}Sn $t_{1/2} = 112$ d	^{112}Sn (n, γ)	$^{119}Sn^*$, 250 d ^{121}Sn, 27 h ^{123}Sn, 40 min 130 d ^{125}Sn, 10 min ⌉ β^- ^{125}Sb, 2,7 a. ←	^{113}Sn $T_{1/2} = 112$ d El.-Einfang $^{113}In^*$ $T_{1/2} = 104$ min 70 % γ-Str. 0,393 MeV 30 % K-Elektr. ^{113}In
^{121}Sn $t_{1/2} = 27$ h	^{120}Sn (n, γ)	^{123}Sn, 40 min 130 d ^{125}Sn, 10 min ⌉ β^- ^{125}Sb; 2,7 a. ←	β^- 0,38 MeV

engl.: tin *franz.: étain* [4, 16]

Zintl-Phase, s. Intermetallische Verbindung.
engl.: Zintl-phase *franz.: phase de Zintl*

Zircaloy. Geschützte Werksbezeichnung für Zirkonlegierungen mit 2,5 % Sn (Z. 1) bzw. 1,5 %Sn, 0,1 % Cr und 0,05 % Ni (Z. 2). Die Legierungszusätze vermindern die Empfindlichkeit der Korrosionsbeständigkeit reinen Zirkons gegen verunreinigende Spuren von anderen Elementen. [4]

Zircex-Prozeß, Bezeichnung für den Prozeß der Auflösung von Zirkon und Abtrennung von Uran mittels *Hydrochlorination. Hydrochlorination kann in der Gasphase oder in der flüssigen Phase durchgeführt werden. In der Gasphase bildet sich bei Temperaturen von 300 bis 600 °C das flüchtige $ZrCl_4$, während das nicht flüchtige UCl_3, das bei der Hydrochlorination von Zirkon-legierten Uran-Brennstoffelementen gleichzeitig entsteht, zurückbleibt. Dieses wird in Wasser aufgelöst, man dampft das gebildete HCl ab. – Der Z.-P. eignet sich ebenfalls zur Auflösung Zirkon-umhüllter angereicherter UO_2-Brennstoffelemente. Das Zirkon wird aufgelö. t, während UO_2 selber von HCl nicht angegriffen wird. Der Z.-P. wird in der flüssigen Phase in einer Schmelze von $NH_4ClAlCl_3$ bei ca. 400 °C in Anwesenheit von HCl-Überschuß durchgeführt. [22]
engl.: zircex process *franz.: procéde zircex*

Zirkon, metallisches Element mit der Dichte 6,49, Ordnungszahl 40, Atomgewicht 91,22, Schmelztemperatur 1845 °C, Siedetemperatur unbekannt, Absorptionsquerschnitt gegen thermische Neutronen $\sigma_a = 180$ mb; Kristallstruktur unterhalb 870 °C hexagonal dichteste Kugelpackung, oberhalb 870 °C kubisch raumzentriert. Zr ist zur Einhülsung von metallischen Brennstoffstäben wichtig, weil es gute mechanische Eigenschaften und Widerstandskraft gegen Korrosion durch Wasser bei hohen Temperaturen bietet. In dieser Beziehung übertrifft es Aluminium, das nur bis zu 220 °C brauchbar ist. Auch gegen flüssige Alkalimetalle und Wismut-Blei- und Wismut-Blei-Zinn-Legierungen ist Zr beständig. Es wird deshalb als *Strukturmaterial dort eingesetzt, wo man Stahl aus Gründen der Neutronenökonomie und Aluminium bzw. Magnesium aus Korrosionsgründen nicht verwenden kann,

also insbesondere bei wassergekühlten bzw. -moderierten Kraftreaktoren. Die Verwendbarkeit des Metalls hängt davon ab, daß es praktisch frei von Stickstoff und Sauerstoff gehalten wird. Durch Legieren kann man aber ein Metall erhalten, das wesentlich höhere Gehalte an den genannten Verunreinigungen enthalten kann, ohne daß es seine günstigen Eigenschaften einbüßt: *Zircaloy. – Jedes Rohmetall ist stets mit 0,5 bis 3 % des stark neutronenabsorbierenden Hafniums verunreinigt. Für Reaktorzwecke muß das Zirkon deshalb vom Hafnium befreit werden. Zirkon ist gegenüber CO_2 bis etwa 480 °C beständig, gegen Wasser bis 350–400 °C und gegen NaK sogar bis etwa 600 °C (geringer O-Gehalt im NaK vorausgesetzt). Die *Strahlenschäden im Zirkon-Metall bewegen sich in mäßigen Grenzen und beeinträchtigen nicht seine Verwendbarkeit. Ein gerichtetes Wachstum wurde bisher nicht beobachtet. [4, 20]
engl.: zirconium *franz.: zirconium*

Zirkon 95 und 97. Auf diesen beiden radioaktiven Isotopen beruht die hauptsächliche Aktivität der Zirkonumhüllung von Uranstäben im Kernreaktor. Gelegentlich werden sie auch als *Leitisotope verwendet.
Die beiden Isotope gewinnt man durch Bestrahlung von natürlichem Zirkon mit langsamen Neutronen über einen (n, γ)-Prozeß. Mit schnellen Neutronen entstehen sie bei Bestrahlung von Molybdän über einen (n, α)-Prozeß.

Strahlungsdaten:

^{95}Zr:	Halbwertszeit 65 d	^{97}Zr:	Halbwertszeit 17 h
	β^- 0,36 ... 0,88 MeV		β^- 1,9 MeV
	γ 0,75 MeV		γ 0,75 MeV. [16]

Zitronensäure, s. Entseuchung.
engl.: citric acid *franz.: acide citrique*

Zonenschmelzverfahren. Reinigungsverfahren für Metalle. Das Metall befindet sich hierbei in einem langen, horizontalen Tiegel, der langsam durch eine kurze Glühzone bewegt wird. Innerhalb der Glühzone schmilzt das Metall örtlich auf. Bei der Erstarrung nach Verlassen der Glühzone bleiben die Verunreini-

gungen in der Schmelze und wandern mit der Glühzone zum Ende des Tiegels, wo die mit Verunreinigungen angereicherte Restschmelze entfernt wird. Durch mehrmaliges Wiederholen dieses Vorgangs lassen sich hohe Reinheitsgrade erzielen. [4]
engl.: zonal melting
franz.: procédé de fusion par zone

z-Pinch, s. Nachtrag.

Zufallskoinzidenz, s. Koinzidenz.

Zufallsvariable. Dieser Begriff steht in engem Zusammenhang mit der *Verteilungsfunktion. Die Z. sei durch Unterstreichen des Symbols gekennzeichnet, z. B. $\underline{x}$.
Eine Z. ist eine Abbildung der Menge der Ereignisse $E_1, E_2, \ldots$ (s. Wahrscheinlichkeitsbegriff) in die reelle Zahlengerade, derart, daß die Menge $\mathfrak{M}_j$ aller E_i, für welche $\underline{x}(E_i) \leq x_1$ gilt, zum Mengenkörper $\mathfrak{F}$ gehört. x_1 ist eine beliebig vorgegebene reelle Zahl. Durch die Bedingung $\underline{x}(E_i) \leq x_1$ ist eine Einschränkung in der Definition der Z. gegeben. Der Sinn dieser Einschränkung ist folgender: Für $\mathfrak{M}_j \subset \mathfrak{F}$ ist die Wahrscheinlichkeit definiert (s. Wahrscheinlichkeitsbegriff). Sobald ein Ereignis E_1 aus $\mathfrak{M}_j$ eintritt, und nur für solche Ereignisse, ist für dieses $\underline{x} \leq x_1$. Das Ereignis $\underline{x} \leq x_1$ fällt also zusammen mit $E_i \subset \mathfrak{M}_j$. Es hat daher dieselbe Wahrscheinlichkeit, d. h. es gibt die Wahrscheinlichkeit

$$P(\underline{x} \leq x_1) = F(x_1).$$

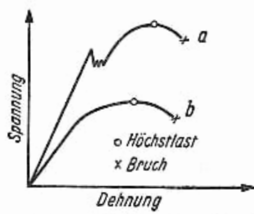
Somit ist durch diese Definition einer Z. gleichzeitig die Existenz einer Verteilungsfunktion gesichert.
Die Realisation einer Z. (hier als nicht-unterstrichene Größe geschrieben, z. B. x) ist zu unterscheiden von der Z. selbst. Die Realisation einer Z. ist charakterisiert durch die Eigenschaft, daß für jedes Intervall der reellen Zahlengeraden die Wahrscheinlichkeit, daß x in dieses Intervall fällt, definiert ist. Die Realisation x gibt den bei einem Experiment wirklich gemessenen Wert an. Es ist zu beachten, daß selbst dann, wenn $\underline{x}$ völlig kontinuierlich ist, die Realisation x zunächst eine Folge diskreter Werte darstellt. [27]
engl.: random variable *franz.: variable fortuite*
Lit.: A. N. Kolmogoroff, Foundations of the Theory of Proba-

bility, Chelsea Publ., New York, 1950. – H. Cramér, Mathematical Methods of Statistics, Princeton Univ. Press, Princeton, 1956.

Zugfestigkeit, s. Zugversuch.

engl.: tensile strength *franz.: résistance à la traction*

Zugversuch, Prüfmethode für die Festigkeit von Metallen. Ein Probestab wird an seinen Enden eingespannt und in einer Prüfmaschine unter Zugbeanspruchung bis zum Bruch gedehnt. Gemessen wird die Abhängigkeit der Spannung von der Dehnung (Spannung-Dehnung-Schaubild). Die Spannungskurve steigt



a) Spannung-Dehnung-Kurve von Kohlenstoffstahl
b) Normale Spannung-Dehnung-Kurve

bei den meisten Metallen zunächst linear mit der Dehnung an und biegt dann ab. Ihr höchster Punkt, also die größte von der Probe ertragene Spannung (Höchstlast), bezogen auf den Anfangsquerschnitt, gibt die Zugfestigkeit σ_B (in kg/mm²). Der lineare Anfangsteil der Kurve entspricht der elastischen Verformung. Die Spannung, bei der eine plastische (bleibende) Verformung von 0,2 % erzeugt wird, nennt man 0,2-Grenze ($\sigma_{0,2}$ in kg/mm²). Unter der Bruchdehnung (δ in %) versteht man die bleibende Verlängerung der Meßlänge nach dem Bruch, bezogen auf die ursprüngliche Meßlänge. Die Brucheinschnürung (ψ in %) ist die bleibende Querschnittsverminderung nach dem Bruch, bezogen auf den Ausgangsquerschnitt.

Kohlenstoffhaltige Stähle zeigen beim Übergang vom elastischen zum plastischen Teil der Spannungskurve einen ausgeprägten Knick (Knick an der Streckgrenze). Die Spannung, bei der dieser Knick auftritt, bezogen auf den Ausgangsquerschnitt der Probe, nennt man Streckgrenze (σ_S in kg/mm²). [4]

engl.: tensile test *franz.: essai de traction*

Lit.: DIN 50 145, 50 146.

Zuschlagstoff, ein Stoff, der bei der Betonherstellung dem Zement zugegeben wird. S. Schwerbeton. [26]
engl.: aggregate *franz.: additif*

Zustand, a) allgemein. Vom Standpunkt der statistischen Mechanik aus bezeichnet man als Z. eine bestimmte Verteilung der Bestandteile eines Systems auf die verschiedenen Zellen des Phasenraums. Dadurch sind alle Bestimmungsstücke des Systems, seine makroskopischen und mikroskopischen Eigenschaften, eindeutig festgelegt. Der vielseitige Gebrauch des Wortes Z. in der klassischen Physik ist so ausreichend umrissen.
In der Quantenmechanik erklärt man das Wort Z. besser als die Gesamtheit der Quantenzahlen, die ein System oder ein Einzelteilchen eindeutig und vollständig kennzeichnen. Das ist jedoch kein Widerspruch zu der obigen Definition, sondern mit ihr durchaus identisch, da die Quantenzahlen eine Beschreibung der Phasenraumzahlen darstellen.
b) Angeregter Z. Der Begriff wird in der Atom-, Molekül- und Kernphysik gebraucht. Er besagt, daß die Bestandteile des Systems sich nicht im Grundzustand befinden, sondern teilweise höhere Quantenzahlen aufweisen. Die Lebensdauer eines angeregten Z.s ist begrenzt und beträgt bei Atomen meist etwa 10^{-8} s. S. Anregung.
c) Metastabiler Z. In Atomen und in Atomkernen gibt es oft Zustände, die energetisch höher liegen als der Grundzustand, von denen aus das Atom bzw. der Kern aber infolge eines Auswahlverbots nicht unter Strahlung in einen tieferen Z. übergehen kann. Einen derartigen Z. nennt man einen metastabilen Z., da er zwar nicht stabil ist – dies ist nur der Grundzustand – aber infolge seiner Übergangsbehinderung sich weitgehend wie ein stabiler Zustand verhält. Das Atom kann von ihm nur durch strahlungslose Übergänge herunterkommen, vor allem durch Stöße zweiter Art. Ein metastabiler Z. hat dadurch eine außerordentlich erhöhte Lebensdauer, die bis in die Größenordnung von Sekunden reichen kann, während ein normaler angeregter Z. nur eine Lebensdauer von etwa 10^{-8} s hat.

d) S t a t i o n ä r e r Z. ist ein solcher, bei dem (in einem abgeschlossenen System) keine Veränderungen mit der Zeit eintreten. Das bedeutet in der Sprechweise der Statistik, daß in ein festgehaltenes Volumen des Phasenraumes gleich viel Moleküle ein- wie austreten. Die Verteilung der Moleküle ist daher in diesem Fall zeitlich unveränderlich, d. h. stationär. Die Gesamtheit der Moleküle muß sich im statistischen Gleichgewicht befinden.

In der Sprechweise der Quantentheorie hat man einen stationären Z., wenn sich die Q u a n t e n z a h l e n des Systems mit der Zeit nicht ändern. Man nennt daher diejenige Z.e eines atomaren Systems, welche – evtl. nur für kurze Zeit – strahlungslos eingenommen werden können, und deren jeweilige Energien den quantentheoretisch erlaubten Energieniveaus entsprechen, stationäre Z.e. Der energetisch tiefste stationäre Z. des Systems ist sein Grundzustand, in dem es sich normalerweise (d. h., wenn es nicht durch Energiezufuhr angeregt ist) befindet. Aber auch die angeregten Z.e bezeichnet man als stationäre Z.e, da sie über kleine Zeitintervalle beständig sind. Die Übergänge zwischen den stationären Z.n entsprechen der Emission (Übergang von höherem zu tieferem Z.) oder der Absorption (Übergang von tieferem zu höherem Z.) von Strahlung, deren Quantenenergie $h\nu$ gleich der Energiedifferenz der beiden stationären Z.e ist.

Im Bild des B o h r schen Atommodells entsprechen den stationären Z.n bestimmte Bahnen der Elektronen, im Bild der Wellenmechanik bestimmte ψ-Funktionen, d. h. bestimmte Verteilungen der Wahrscheinlichkeit, unter der man eine bestimmte Konfiguration antrifft. [1, 7]

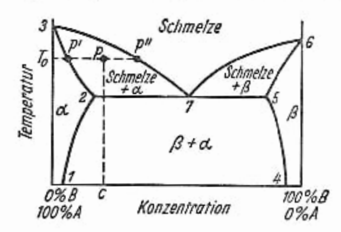
engl.: state

franz.: état

Lit.: W. Finkelnburg, Einf. in die Atomphysik, 5./6. Aufl., Springer, Berlin, 1958.

Zustandsbild (Zustandsdiagramm, Phasendiagramm), graphische Darstellung der Konstitution aller zwischen zwei oder mehreren Atomarten bestehenden Legierungen in Abhängigkeit von Konzentration, Temperatur und gegebenenfalls vom Druck. Bei

Metallsystemen kann die Druckabhängigkeit vernachlässigt werden. Das Z. eines Zweistoffsystems besteht aus Gebieten, die homogenen (einphasigen) Zuständen entsprechen, und Gebieten, die heterogenen (zweiphasigen) Zuständen entsprechen. Dreiphasengleichgewichte (*Eutektikum, *Peritektikum) sind in einem Zweistoffsystem als isotherme Geraden abgebildet (siehe Bild: 2–7–5). Linien, welche Gebiete des homo-



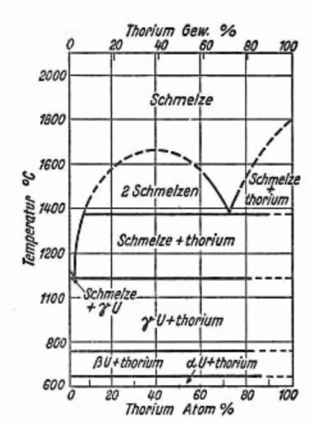
Zustandsbild eines eutektischen Systems

genen flüssigen Zustandes (Schmelze) nach unten begrenzen, nennt man Liquiduslinien (3–7 und 6–7). Linien, welche den vollständig festen Zustand nach oben begrenzen, nennt man Soliduslinien (2–3 und 5–6), und Linien, welche einen homogenen Zustand gegen einen heterogenen abgrenzen, nennt man Löslichkeitslinien (1–2 und 4–5). Befindet sich eine Legierung der Konzentration c in einem heterogenen Gebiet bei der Temperatur T_0 (Punkt P), so besteht sie aus einem Gemisch von zwei Phasen, im Beispiel aus Alpha-Kristallen (P') und Schmelze (P''). Die isotherme Verbindungslinie, welche die im Gleichgewicht miteinanderstehenden Zustände P' und P'' verbindet, nennt man Konode. – Beispiele über Zustandsdiagramme von im Reaktorbau wichtigen Legierungen werden auf den Seiten 672–677 gebracht. [4]

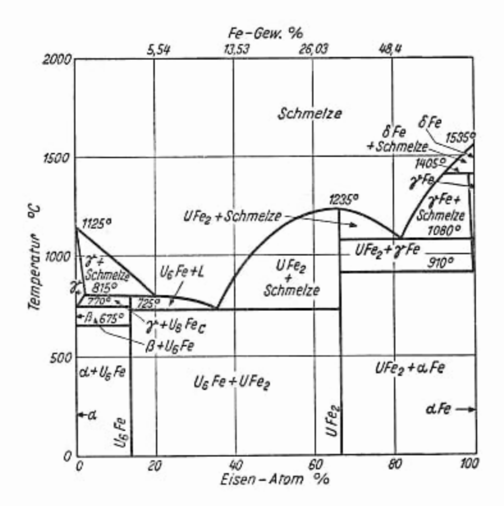
engl.: equilibrium diagram

franz.: diagramme d'états

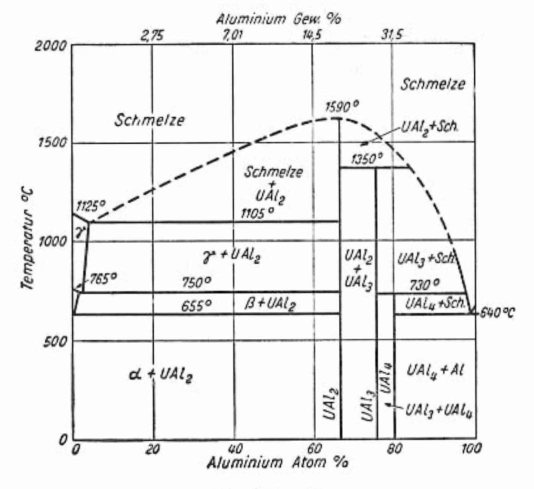
Lit.: G. Masing, Lehrbuch d. allg. Metallkunde, Springer, Berlin, 1950. – E. Brandenberger, Allg. Metallkunde, Reinhardt, München, 1952.



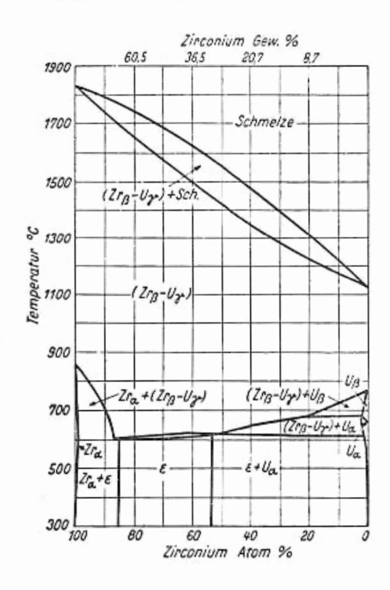
Thorium-Uran



Eisen-Uran

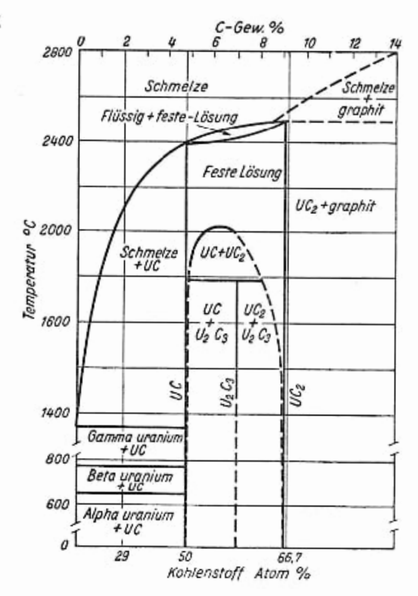


Aluminium-Uran

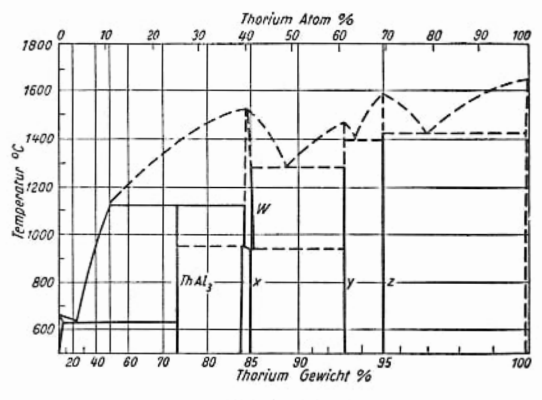


Zirkon-Uran

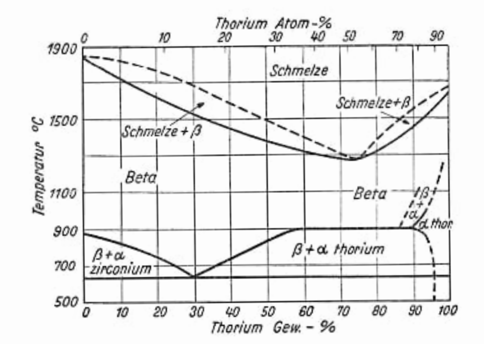
Zustandsbild



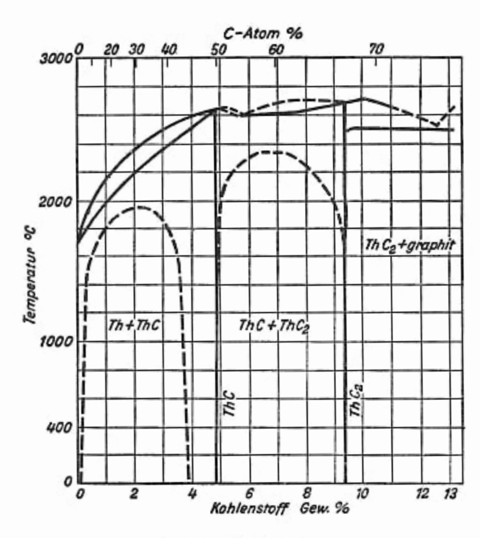
Kohlenstoff-Uran



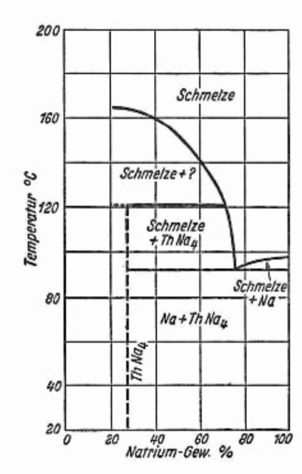
Thorium-Aluminium



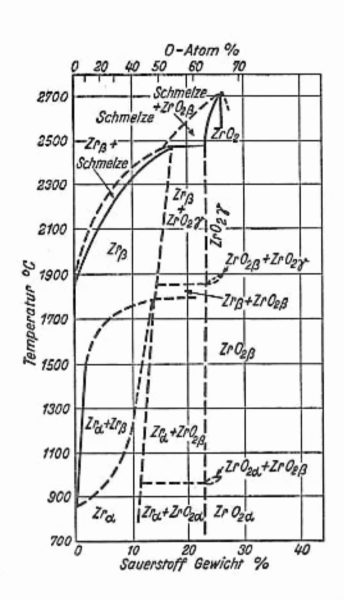
Thorium-Zirconium



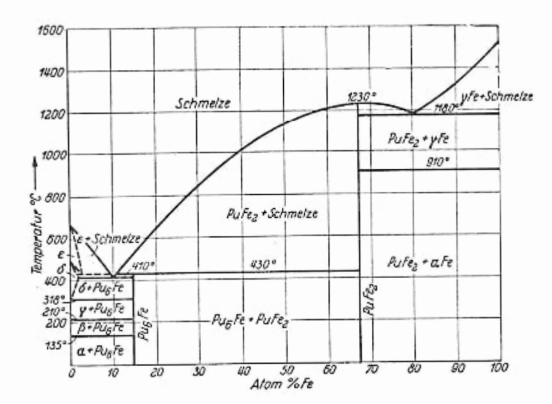
Kohlenstoff-Thorium



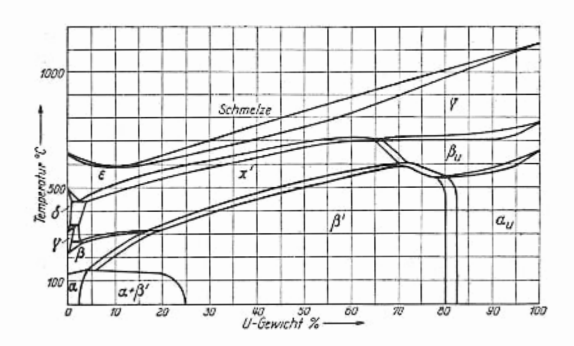
Natrium-Thorium



Sauerstoff-Zirconium



Plutonium-Eisen



Plutonium-Uran

Zustandsgrößen. Erfahrungsgemäß besteht zwischen Temperatur T, Druck p und spezifischem Volumen v eines homogenen Körpers stets eine Beziehung von der Form $F(T, p, v) = 0$, die man thermische Zustandsgleichung nennt. T, p und v sind sog. Zustandsgrößen; sind zwei von ihnen bekannt, so ist die dritte durch die Zustandsgleichung bestimmt. Die im ersten Hauptsatz $\mathrm{d}q = \mathrm{d}u + \mathrm{d}l$ auftretende „innere Energie" u ist ebenso eine nur von dem Zustand des Körpers abhängige Größe, die zugeführte Wärme q und die geleistete Arbeit l sind jedoch keine Z., ihr Wert hängt nicht nur von dem Anfangs- und Endzustand ab, sondern von dem ganzen Verlauf der Zustandsänderung. Eine weitere Zustandsgröße ist die Entropie s, die bei reversiblen Zustandsänderungen durch die Beziehung $\mathrm{d}s = (\mathrm{d}q/T)$ (T absolute Temperatur) definiert ist. Ebenso wie u ist auch s als Differenz gegen einen willkürlich gewählten Anfangszustand bestimmt. Allgemein können mathematische Kombinationen der einfachen Zustandsgrößen wieder als Z. eingeführt werden. Für viele technische Anwendungen ist die Enthalpie $i = u + p\,v$ von Bedeutung. In der chemischen Thermodynamik wird die freie Energie $f = u - T\,s$ (wobei $T\,s$ als gebundene Energie bezeichnet wird), die freie Enthalpie $g = i - T\,s$ und auch die Größe $\varphi = s - (i/T)$ häufig benützt. (Es ist üblich, Z. mit kleinen Buchstaben zu bezeichnen, wenn sie sich auf die Gewichtseinheit beziehen.)

Bei nicht homogenen Körpern reichen im allgemeinen zwei Z. zur Festlegung des thermodynamischen Zustands nicht aus. So ist dieser z. B. bei einem Wasser-Dampf-Gemisch erst bestimmt, wenn außer zwei von den oben genannten Größen noch der Dampfgehalt x oder der flüssige Bruchteil $y = 1 - x$ des Gemisches bekannt ist. [5]

engl.: state variables

franz.: grandeurs caractéristiques

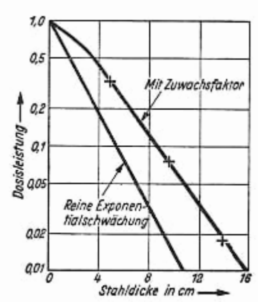
Lit.: E. Schmidt, Einführung in die Technische Thermodynamik, 6. Aufl., Springer, Berlin, 1956.

Zuwachsfaktor. Der Z. ist derjenige Faktor, mit dem man den nach einem reinen Exponentialschwächungsgesetz berechneten Fluß etc. multiplizieren muß,

um den wirklich vorhandenen Fluß etc. zu erhalten. Das ist immer nötig bei großem Strahlquerschnitt (s. Geometrie). Der Z. bezieht sich auf die Dosis (Dosis-Z.), die Energieabsorption (Energieabsorptions-Z.), den Energiefluß (Energie-Z.) etc. Bezeichnet X irgendeine der Größen, so gilt für eine Punktquelle der Stärke S im Abstande r nach einer Schilddicke y beim Schwächungskoeffizienten μ

$$X = B \cdot \frac{S}{4\pi r^2} e^{-\mu y}$$

mit B als Z. Die Größe $(B-1)$ gibt den Anteil der Strahlung an, der nicht auf direktem Wege (ohne Stoß), an den betrachteten Raumpunkt kommt. Verursacht wird dieses Phänomen durch den Compton-Effekt. Der Z. dient zur Berechnung der Dosis bei Schilden und zur Berechnung der Energieabsorption in Materialien (Erwärmung).



Dosisleistung nach reiner Exponentialschwächung und unter Berücksichtigung des Zuwachsfaktors in Abhängigkeit von der Dicke durchsetzten Stahls.

Ein ähnlicher Z. gilt für Neutronen nicht zu hoher Energie, dabei kann man den Z. z. B. mit der Altersnäherung berechnen. [26]

engl.: build-up factor

franz.: facteur de correction

Lit.: H. Goldstein u. J. E. Wilkins jr., Calculations of the penetration of gamma rays, US AEC report NYO 3075.

Zweig. In der Atom- und Kernphysik kommt Z. in zweierlei Bedeutung vor: Als Z. eines Bandenspektrums, das aus P-, Q- und R-Z. besteht, die der Ände-

rung −1, 0 und +1 der Rotationsquantenzahl entsprechen, und zweitens als Z. einer radioaktiven Zerfallsreihe nach einer radioaktiven Verzweigung. [1]
engl.: branch *franz.: rameau, branchement*

Zweigruppenmodell, s. Gruppendiffusionsmethode und kritische Gleichung.
engl.: two group model
franz.: modèle à deux groupes

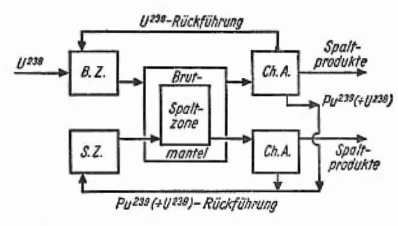
Zweiphasendosimeter, chemisches Dosimeter, das aus zwei nicht mischbaren Phasen besteht. Durch Schütteln kann der durch Einwirkung von Strahlung abgespaltene Bestandteil in die andere Phase übertreten und dort z. B. durch Farbreaktion gemessen werden. [18]
engl.: two phase dosimeter
franz.: dosimètre à deux phases

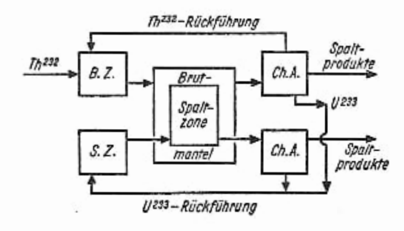
Zweitemperaturprozeß, s. chemische Austauschreaktionen.
engl.: dual temperature process
franz.: procédé des deux températures

Zwei-von-drei-Schaltung, im Sicherheitssystem angewandte Mischschaltung zwischen drei gleichen *Meßkanälen zur automatischen Abschaltung und Anzeige eines fehlerhaft arbeitenden Kanals.
Die Z.-v.-d.-S. geht von der Voraussetzung aus, daß bei Übereinstimmung von zwei Kanälen und davon abweichendem Wert des dritten mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit der dritte Kanal defekt ist. Die Schaltung beruht deshalb prinzipiell auf einer laufenden Koinzidenzkontrolle zwischen den drei Meßwertdifferenzen, durch die immer der Kanal abgeschaltet wird, bei dem beide Differenzen zu den Nachbarkanälen einen bestimmten Wert überschritten haben. Dabei wird gleichzeitig ein entsprechendes Signal ausgelöst. Überschreiten alle drei Differenzen den zulässigen Wert, dann wird automatisch die zu den Meßwerten gehörende *Sicherheitsoperation ausgelöst (meist ein *Schnellschluß). Von der reinen *Koinzidenzschaltung unterscheidet sich die Z.-v.-d.-S. dadurch, daß die Sicherheitsoperation immer erst bei größeren Abweichungen zwischen allen d r e i Kanälen ausgelöst wird, von der reinen Auktionsschaltung dadurch, daß

Fehler eines einzelnen Kanals (nach zu großen Werten hin) keine Sicherheitsoperation auslösen können. [9]
engl.: two out of three system
franz.: montage de sécurité à trois canaux
Lit.: E. Siddall, Rep. Nr. 399, AECL (Kanada).

Zweizonenreaktor, ein Reaktor, der außer der eigentlichen Spaltzone noch eine weitere, periphere Zone (Brutmantel) besitzt, in der vor allem Brutprozesse vor sich gehen. Die dazu erforderlichen Neutronen werden hauptsächlich von der Spaltzone geliefert, zu einem kleinen Teil entstammen sie den schnellen Spaltungen im Brutmaterial. Im Gegensatz zum Z. besitzt der Einzonenreaktor nur eine Spaltzone (der Reflektor wird in dieser Terminologie





nicht mitgezählt). Beispiele für Z.n sind die schnellen Brüter mit festen Spaltstoffelementen (s. EBR). Abb. 1 zeigt das Fließ-Schema eines derartigen Reaktors. Das Fließ-Schema eines Z.s, der als thermischer

Thorium-Brüter arbeitet, ist in Abb. 2 dargestellt. [13]
engl.: two region reactor
franz.: réacteur à deux zones
Lit.: M. Benedict and T. H. Pigford, Nuclear Chemical Engineering, McGraw-Hill, 1957.

Zweizweckreaktoren sind solche Reaktoren, die der Energieerzeugung und der Plutoniumbildung dienen, z. B. die *Calder Reaktoren. S. Leistungsreaktor. [7]
engl.: dual purpose reactors
franz.: réacteurs mixtes, réacteurs bivalents

Zwillingsbildung. Zwillinge sind Kristallpaare, die auf einer *Netzebene so zusammengewachsen sind, daß diese eine Symmetrieebene ist. Zwillinge entstehen beim Wachstum von Kristallen oder durch mechanische Beanspruchung, wobei ein ganzer Gitterbereich in die Zwillingslage umklappt. [4]
engl.: twinning *franz.: mâcle*

Zwischengitterplatz. Platz in einem Kristallgitter, der bei idealer Ordnung nicht besetzt ist, aber geometrisch und energetisch die Besetzung durch ein Fremdatom oder -ion (z. B. beim *Einlagerungsmischkristall) oder auch durch einen Kristallbaustein (Atom, Ion, Molekül) des Gitters selbst (z. B. *Frenkel-Defekt) zuläßt. Die Besetzung des Z.s verursacht eine Verzerrung der benachbarten Gitterbereiche und erzeugt dadurch *Eigenspannungen. [4]
engl.: interstitial site *franz.: position interstitielle*

Zygote, svw. Vereinigungsprodukt zweier Keimzellen.
engl.: zygote *franz.: zygote*

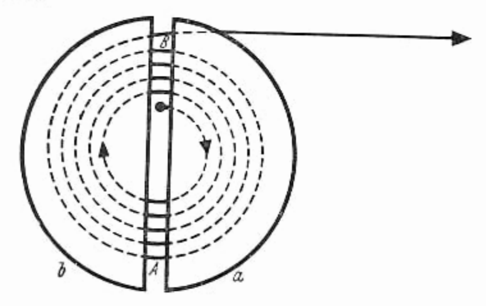
Zyklohexanon ist ein sehr beständiges Keton

$$\begin{array}{ccccc} CH_2 & - & CH_2 & - & CH_2 \\ | & & & & | \\ CH_2 & - & CH_2 & - & CO\,. \end{array}$$

Es siedet bei 156 °C und wird teilweise als Extraktionsmittel für die Extraktion von Uranylnitrat aus wäßriger Lösung benutzt. [22]
engl.: cyclohexanone *franz.: cyclohexanone*

Zyklon, aus dem Englischen stammende Sammelbezeichnung für Apparate, mit denen man bei wäßrigen Brennstofflösungen oder Suspensionen unlösliches Material kontinuierlich entfernt. [22]
engl.: cyclone *franz.: cyclône*

Zyklotron, Gerät zur Beschleunigung von Ionen auf hohe Energien, wobei die Teilchen auf geschlossenen oder nahezu geschlossenen Bahnen umlaufen und bei jedem Umlauf erneut beschleunigt werden. Das Z. wurde 1931 von Lawrence erfunden und lieferte schon nach kurzer Zeit Teilchenenergien von mehreren MeV. Heute ist man mit besonderen Kunstgriffen bis auf rund 500 MeV gekommen, mit dem verwandten *Synchrotron sogar auf mehrere Tausend MeV.



Das Prinzip des Z.s wird durch die obenstehende Abb. verdeutlicht. Zwei halbkreisförmige, flache Metallkästen (die sog. D's) in einem Hochvakuum-Gefäß bilden den Raum, in welchem sich die Ionen bewegen. Diese werden im Innern dieses Raumes von einer Ionenquelle, z. B. einer Bogenentladung in Wasserstoff, schwerem Wasserstoff oder Helium erzeugt und von einem starken, homogenen Magnetfeld, in welchem die ganze Anordnung liegt, gezwungen, auf Kreisbahnen umzulaufen. Eine Berechnung zeigt, daß die Umlaufszeit auf einer solchen Kreisbahn unabhängig von der Geschwindigkeit der Ionen ist, wenigstens solange der relativistische Massenzuwachs vernachlässigbar ist. Bei wachsender Geschwindigkeit wird nämlich der Radius des Kreises und damit der zu durchlaufende Weg im selben Verhältnis größer als die Geschwindigkeit.
Auf den Kreisbahnen – oder bei steigender Geschwindigkeit Spiralbahnen – wechseln also die Ionen in gleichen Zeitabständen zwischen den beiden Metallkästen hin und her. Legt man nun an diese eine hohe Span-

nung von der zu den Zeitabständen genau passenden hohen Frequenz, so finden diejenigen Ionen, die gerade in der richtigen Phase zur Hochfrequenz umlaufen, bei jedem Übergang gerade ein beschleunigendes Feld vor, und werden so bei jedem Umlauf zweimal beschleunigt, so daß sie nach vielen Umläufen eine Energie erreicht haben, welche einem hohen Vielfachen der angelegten Spannung entspricht.

Der größte und teuerste Bestandteil eines Z.s ist der riesige Elektromagnet, welcher auf eine große Fläche – die Bahndurchmesser der Ionen gehen bei dem größten Z. in Berkeley bis $4^1/_2$ m – ein genügend starkes Magnetfeld liefern muß. Er wiegt bei dem Berkeleyer Z. allein 5000 t.

Nach Erreichung einer genügend hohen Energie können die umlaufenden Ionen durch eine Ablenk-Elektrode aus der Beschleunigungskammer herausgeführt werden und bilden dann einen Ionenstrahl in freier Luft.

Ab 30 . . . 40 MeV macht sich die relativistische Massenzunahme der Ionen unangenehm bemerkbar, die ein allmähliches Langsamerwerden der Umläufe bedingt, wodurch die Ionen mit der Hochfrequenz der beschleunigenden Spannung „außer Tritt fallen“ und dann nicht mehr weiter beschleunigt werden.

Diese Erscheinung wurde durch den Kunstgriff des Synchro-Zyklotrons unschädlich gemacht, bei welchem durch Zusatzeinrichtungen die Frequenz der Beschleunigungsspannung oder die Stärke des Magnetfeldes oder beides zeitlich geändert und der relativistischen Verlangsamung angepaßt werden. Dadurch kann bis zu grundsätzlich beliebig hohen Energien weiterbeschleunigt werden. Mit diesem Verfahren wurden die Spitzenwerte, 390 MeV bei α-Strahlen und einiges mehr bei Protonen, erreicht.

Zur Erzielung noch höherer Teilchenenergien dient sowohl für Elektronen als ganz besonders für Protonen das *Synchrotron. [1]

engl.: cyclotron *franz.: cyclotron*

Lit.: W. Riezler, Kernphysik, 6. Aufl., Oldenbourg, München, 1958. – R. Kollath, Teilchenbeschleuniger, Vieweg, Braunschweig, 1955.

Zyklotronfrequenz. Die Bewegung einer Punktladung Ze der Masse m in einem elektrischen Feld $\mathfrak{E}$

Zyklotronfrequenz

und unter Einwirkung eines Magnetfeldes $\mathfrak{B}$ wird beschrieben durch die Bewegungsgleichung

$$m \frac{d\mathfrak{v}}{dt} = Ze \left(\mathfrak{E} + \frac{\mathfrak{v}}{c} \times \mathfrak{B} \right),$$

wobei $Ze(\mathfrak{E} + (\mathfrak{v}/c) \times \mathfrak{B})$ die Lorentz-Kraft bedeutet. c ist die Lichtgeschwindigkeit. Ist nur ein Magnetfeld vorhanden, dann folgt

$$m \frac{d\mathfrak{v}}{dt} = Ze \frac{\mathfrak{v}}{c} \times \mathfrak{B}.$$

Es ist ferner $\mathfrak{v} = d\mathfrak{r}/dt$, wobei $\mathfrak{v}$ der Geschwindigkeitsvektor und $\mathfrak{r}$ der Bahnvektor der Punktladung ist. Zweimalige Integration der Bewegungsgleichungen unter der Voraussetzung, daß $\mathfrak{v}$ ursprünglich senkrecht auf $\mathfrak{B}$ steht, ergibt die Beziehung

$$r = \frac{m\,c\,v}{Ze\,B},$$

d. h. daß sich die Punktladung in einer Kreisbahn vom Radius r bewegt. Die Umlaufzeit oder Kreisfrequenz ω_c ist gegeben durch

$$\omega_c = 2\pi\nu_c = \frac{v}{r} = \frac{Ze\,B}{m\,c}.$$

Dasselbe Ergebnis erhält man, wenn man den numerischen Wert der Beschleunigung

$$\left| \frac{d\mathfrak{v}}{dt} \right| = \frac{Ze}{m\,c} \left| \mathfrak{v} \times \mathfrak{B} \right| = \frac{Ze\,v\,B}{m\,c}$$

der Zentrifugalbeschleunigung in einer Kreisbahn v^2/r gleichgesetzt, also

$$\frac{v^2}{r} = \frac{Ze\,v\,B}{m\,c}.$$

Die Kreisfrequenz ist dann einfach v/r. Der Name Zyklotronfrequenz rührt daher, daß diese Bewegungsform geladener Teilchen im Zyklotron realisiert ist und die Umlaufszeit v/r dort eine gewisse Rolle spielt.

Die Z. wird verschiedentlich fälschlicherweise als Larmorfrequenz bezeichnet. [27]

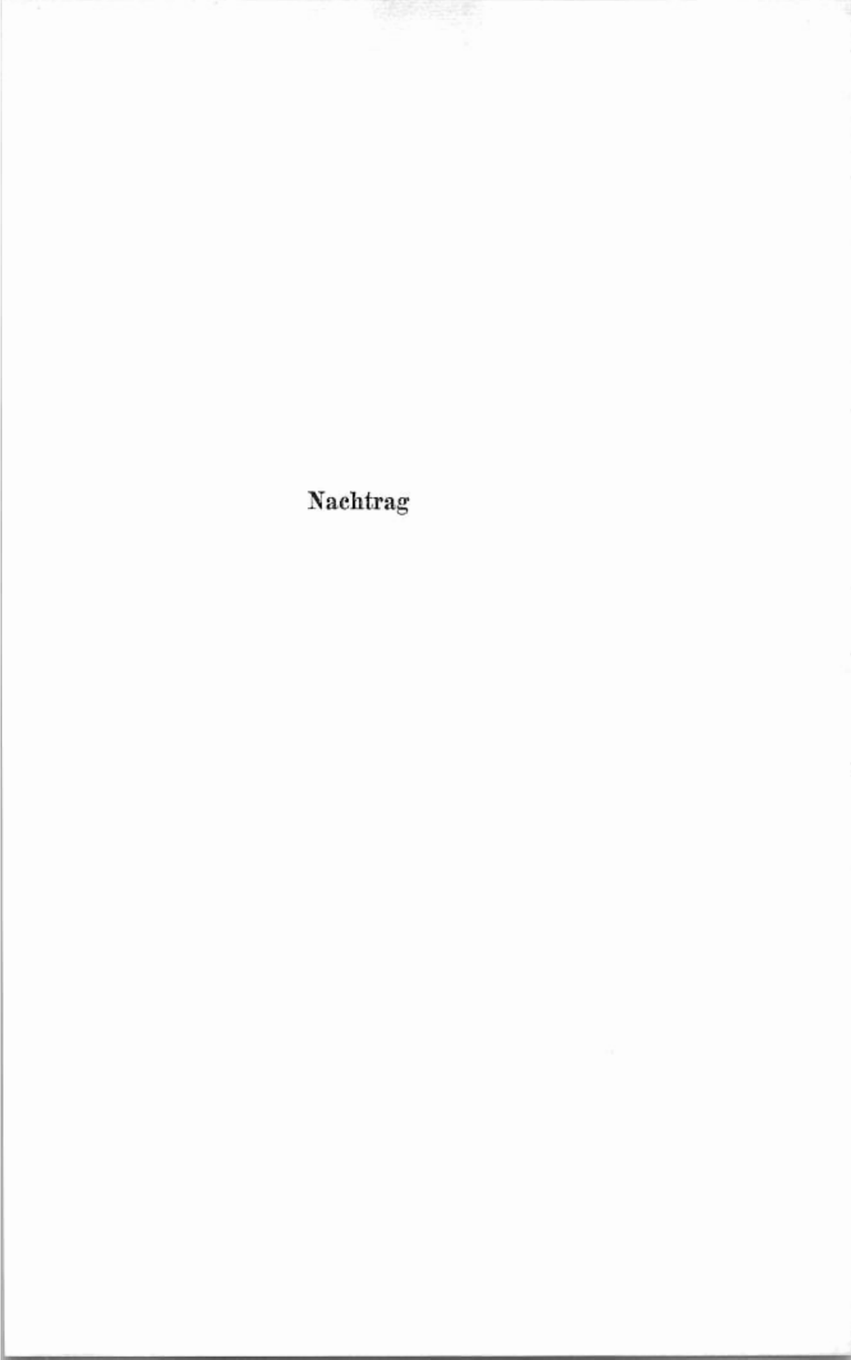
engl.: cyclotron frequency

franz.: fréquence du cyclotron

Zyklotronresonanzheizung

Zyklotronresonanzheizung eines Plasmas, Spezialfall des magnetischen *Pumpens, bei dem die Pumpfrequenz annähernd gleich der Zyklotronfrequenz ist. Je nachdem ob man Elektronen oder Ionen aufheizen will, wird die Zyklotronfrequenz der Elektronen oder Ionen gewählt. Im Zusammenhang mit dieser Art der Aufheizung ist eine Art der Überführung in thermische Bewegung wie bei der Durchlaufheizung (s. Pumpen, magnetisches) von Interesse. Die Leistungsaufnahme bei hohen Temperaturen geht proportional $T^{1/2}$, wenn die elektromagnetische Abschirmung stark absinkt, mit $T^{-1/2}$. Es ist jedoch zu beachten, daß die Z. Teilchen bei einmaligem Durchlaufen der Pumpstrecke von sehr niederen zu sehr hohen Energien aufheizt. [27]
engl.: cyclotron resonance heating
Lit.: s. Pumpen, magnetisches.

Zytoplasma, svw. Protoplasma (Zelleiweiß). Das Z. ist neben dem Zellkern der wichtigste Hauptbestandteil der Zelle. [28]
engl.: cytoplasm
franz.: cytoplasme



Nachtrag



A

Abklingbehälter, in strahlengeschützten Räumen aufgestellte oder in den Erdboden eingelassene Behälter zur Aufnahme radioaktiv verseuchter Abwässer aus radiochemischen Laboratorien, Reaktoranlagen usw. Die A. werden zum Schutz gegen Korrosion gewöhnlich mit Edelstahl ausgeschlagen. Ihre Aufnahmefähigkeit muß so berechnet werden, daß die Verweilzeit der anfallenden Abwässer groß genug ist, um sie nach dem Abklingen gefahrlos ablassen oder weiterverarbeiten zu können. [11]
engl.: decontamination vessel
franz.: container de décontamination

Abschrecken, rasches Abkühlen von Metallen mit hoher Temperatur, meist durch Eintauchen in ein Wasser- oder Ölbad. Durch Abschrecken kann man Umwandlungen, Ausscheidungen usw. unterdrücken und bei höherer Temperatur bestehende Gleichgewichtszustände bei tiefer Temperatur metastabil erhalten. [4]
engl.: quenching *franz.: trempe*

Absenkungsfaktor bei heterogenen Reaktoren, Verhältnis des mittleren thermischen Neutronenflusses in einer Reaktorzelle zum mittleren thermischen Neutronenfluß im Brennstoff. [7]
engl.: disadvantage factor
franz.: facteur de désavantage

Absorptionsfolie, Standardabsorber für die Absorptionsanalyse. Folien und Bleche verschiedener Stärke werden zu Absorptionssätzen ähnlich wie Gewichtssätze zusammengestellt, damit vielfältige Absorptionsmöglichkeiten leicht gewählt werden können. Als Absorbermaterial verwendet man gern Kunststoffe sowie Al, Au, Cu, Ni, Ag, Wo. [16]
engl.: absorption foil *franz.: filtre*

Adsorptionsschwelle, jener Punkt in einem Adsorptionsvorgang, bei dem das Sorptiv eine merkliche Erhöhung der Konzentration des aufzunehmenden Stoffes erfährt. [7]
engl.: break through
franz.: point de rupture

Aggregatrückstoß, die Abstoßung einer Gruppe von Atomen von der Oberfläche eines Materials als Folge eines α-Zerfalls, den eines dieser Atome erlitten hat. Die Beobachtung ist schwierig, wenn das Material nicht eine so hohe spezifische Aktivität hat, daß das abgestoßene Atomaggregat seinerseits radioaktive Zerfälle erleidet, z. B. bei fast reinem Polonium. [7]
engl.: aggregate recoil
franz.: recul moléculaire

AKS, s. Arbeitsgemeinschaft Kernkraftwerk.

Anlagerungsreaktion, eine Kernreaktion, bei der das einfallende Teilchen an einen Atomkern angelagert wird, ohne daß ein anderes Kernteilchen emittiert wird. Die bei der Anlagerung freiwerdende Bindungsenergie wird als γ-Strahlung weggeführt. Häufig auch als Einfangreaktion bezeichnet. [11]
engl.: capture process
franz.: réaction de capture

Anregungszustand ist ein instabiler Zustand eines quantenmechanischen Systems (Atomkern, Atomhülle, Molekül), der einen größeren Energieinhalt als der Grundzustand des jeweiligen Systems besitzt. Angeregte Zustände von Atomkernen entstehen im Verlauf von Kernreaktionen oder als Produkte eines radioaktiven Zerfalls. Auch bei der Kernspaltung entstehen die Bruchstücke in angeregten Zuständen. Man unterscheidet gebundene Anregungszustände, die nur durch Emission von γ-Strahlung oder Konversionselektronen in den Grundzustand übergehen können, und virtuelle Anregungszustände, die auch durch Nukleonenemission zerfallen können (Beispiel: Emission der verspäteten Neutronen als Folge des radioaktiven Zerfalls bestimmter Spaltprodukte).
Die gebundenen Anregungszustände der Atomkerne bilden diskrete Spektren, da die Quantenmechanik nur diskrete Energieniveaus für ein gebundenes Teilchensystem zuläßt. Die Erforschung dieser Spektren ist Aufgabe der Kernspektroskopie. Aus der Struktur der Spektren und dem Charakter der einzelnen Anregungszustände lassen sich Rückschlüsse auf die Struktur der Kerne ziehen. Ein Anregungszustand wird außer durch Angabe des betreffenden Nuklids und seiner *Anre-

gungsenergie durch Spin und Parität, die bestimmte Werte haben müssen, charakterisiert.
Die Lebensdauer der gebundenen Anregungszustände ist gewöhnlich sehr kurz, jedoch teilweise mit modernen Hifsmitteln meßbar (d. h. größer als 10^{-10} s). In Einzelfällen werden Anregungszustände mit längeren Halbwertszeiten beobachtet. Solche „isomeren" Zustände treten auf, wenn der Übergang des angeregten Kerns in den Grundzustand mit einer großen Spinänderung verbunden ist. [11]
engl.: excitation state *franz.: état d'excitation*

Apsaras, erster indischer Forschungsreaktor vom Wasserbeckentyp (s. Reaktortabelle, Bd. II) im Forschungszentrum *Trombay. [7]

Arbeitsgemeinschaft Deutscher Energieversorgungsunternehmen zur Vorbereitung der Errichtung eines Leistungsversuchsreaktors e.V. (AVR).
Der AVR, die ihren Sitz in Düsseldorf hat, gehören folgende Mitglieder an:

Stadtwerke Bremen AG
Stadtwerke Düsseldorf
Stadtwerke Duisburg
Elektromark AG, Hagen
Elektrizitätswerk Wesertal
Stadtwerke Hannover
Elektrizitätswerk Minden-Ravensberg
Stadtwerke Kiel
Stadtwerke München
Wuppertaler Stadtwerke AG

Die AVR hat der Arbeitsgemeinschaft BBC/Krupp einen Konstruktionsauftrag für ein 15 MWel Kernkraftwerk erteilt. Es handelt sich um einen *Kugelhaufen-Reaktor für hohe Temperatur. Als Standort wurden die Gemeinsamen Atomforschungsanlagen des Landes *Nordrhein-Westfalen in Jülich vorgesehen. [10]

Arbeitsgemeinschaft Kernkraftwerk, Stuttgart (AKS). Dies ist die Kurzbezeichnung für: Arbeitsgemeinschaft Baden-Württemberg zum Studium der Errichtung eines Kernkraftwerks. Sie wird durch folgende Mitglieder gebildet:

1. Land Baden-Württemberg
2. Energie-Versorgung Schwaben AG. (Stuttgart)
3. Badenwerk (Karlsruhe)

4. Neckarwerke (Eßlingen)
5. Technische Werke der Stadt Stuttgart
6. Großkraftwerk Mannheim
7. Stadtwerke Karlsruhe

AKS hat den Zweck:

a) Die Gewinnung und Sammlung wissenschaftlicher, technischer und wirtschaftlicher Erkenntnisse und Erfahrungen zur Stromerzeugung aus Kernenergie.
b) Die Ausbildung von Fachkräften für Kernkraftwerke.
c) Die Prüfung von Unterlagen über die technischen Einrichtungen von Kernkraftwerken.
d) Die Projektierung eines Kernkraftwerkes.

Es ist nicht Aufgabe der Arbeitsgemeinschaft, den Bau einer Kernkraftanlage durchzuführen. Zur Lösung dieser Aufgabe soll eine Baugesellschaft gegründet werden. [21]

Astron, in Entwicklung befindliches Gerät (University of California Radiation Laboratory, Livermore) zum Studium thermonuklearer Reaktionen. Es werden relativistische Elektronen in ein leeres, annähernd zylindrisches Gefäß eingeschossen. Ein äußeres Magnetfeld ist angelegt, so daß die Elektronen Gyrationsbahnen ausführen. Die Anordnung führt zu folgenden gewünschten Bedingungen:

a) Die Elektronen erzeugen ein Eigenmagnetfeld, welches in Verbindung mit dem äußeren magnetischen Feld eine Halterung des Plasmas ermöglicht. Voraussetzung ist jedoch, daß die Zahl der Elektronen einen gewissen kritischen Wert übersteigt.

b) Die Elektronen ionisieren die eingeschlossenen Neutralatome, so daß ein kaltes Plasma entsteht, welches in dem magnetischen Feld eingeschlossen ist.

c) Da die Elektronen sich auch durch das Plasma bewegen, verlieren sie dort Energie, insbes. an Elektronen, deren Temperatur sie erhöhen.

d) Durch langsame Diffusion senkrecht zu den magnetischen Kraftlinien verliert das Plasma an Energie. Bei ausreichender Zahl relativistischer Elektronen ist der Energiegewinn jedoch höher als der Energieverlust und man glaubt so das Plasma auf Zündtemperatur für

thermonukleare Reaktionen bringen zu können. Die relativistischen Elektronen werden ständig durch Einschießen von außen ersetzt. Die Energie, die notwendig ist, um einem Leistungsreaktor das äußere magnetische Feld aufrechtzuerhalten und die relativistischen Elektronen zu ersetzen, soll etwa 15 % der freigewordenen thermonuklearen Energie betragen. S. a. DCX, Equator, Fusion, Ixion, Magnetohydrodynamik, Ogra, PAM, Perhapsotron, Scylla, Stellerator, Table Top, Triax. [27]

Lit.: N. C. Christofilos, The Astron Thermonuclear Reactor, Proc. 2nd UN Conference on Peaceful Uses of Atomic Energy, P 2446, Genf, 1958.

Atom, statistisches. Atome mit vielen Elektronen können nicht genau berechnet werden, da die mathematischen Schwierigkeiten eines Vielkörperproblems unüberwindbar sind. Man ist daher auf Näherungsmethoden angewiesen. Ein solches Näherungsverfahren ist das Thomas-Fermi-Modell (1926–1928), das auf statistischen Gesetzen beruht. Man denkt sich die Elektronen pulverisiert und behandelt die Ladungsverteilung ϱ als kontinuierlich über den Raum des Atoms verteilt. Dann ist aus der Potentialgleichung $\Delta\varphi = -4\pi\varrho$ unter Beachtung der Randbedingungen die Potentialverteilung φ zu berechnen. Dabei ist ϱ eine Funktion von φ. Das Problem führt auf die Thomas-Fermische Differentialgleichung $d^2\varphi/dx^2 = [\varphi(x)]^{3/2} \cdot x^{-1/2}$ mit den Randbedingungen $\varphi(0) = 1$ und $\varphi(X) = 0$. X entspricht dem Rand des Atoms. Die Lösung dieser Differentialgleichung für die angegebenen Randbedingungen ist in der einschlägigen Literatur (s. u.) tabuliert. – Dieses Verfahren gibt die Elektronenschalen, soweit sie sich durch die Drehimpulsquantenzahl unterscheiden, in auffallend richtiger Weise wieder. Grundsätzlich hat es sich bewährt für die Berechnung innerer Eigenschaften des Atoms wie der Röntgen-M-Niveaus und der zugehörigen Dubletts, dagegen nicht für Eigenschaften der Randzonen des Atoms. [7]

engl.: statistical atom, Thomas-Fermi model
franz.: modèle atomique de Thomas et Fermi

Lit.: Sommerfeld, Atombau und Spektrallinien II, Vieweg, Braunschweig. – Brillouin, Quantenstatistik, Springer, Berlin.

Austausch, turbulenter

Austausch, turbulenter, bewirkt ähnlich wie die Wärmebewegung der Moleküle einen Impuls-, Wärme- und Stoffaustausch. Bei einer turbulenten Strömung sind dem stationären Mittelwert der Geschwindigkeit w noch unregelmäßige Mischbewegungen von Flüssigkeitsballen überlagert, die sich jedoch über einen wesentlich größeren Bereich erstrecken als die Molekülbewegungen. Man führt daher in Analogie zur kinematischen Zähigkeit ν im Stokeschen Reibungsgesetz für laminare Strömung eine scheinbare Zähigkeit ε_τ ein *(eddy viscosity)* und erhält dann bei turbulenter Strömung für die Schubspannung τ folgende Beziehung

$$\tau = \varrho (\nu + \varepsilon_\tau) \frac{\partial w}{\partial y} .$$

Entsprechend schreibt man mit einer scheinbaren Wärmeleitfähigkeit ε_q *(eddy conductivity)* für den Wärmestrom

$$q = -(\lambda + \varrho\, c_p\, \varepsilon_q) \frac{\partial \vartheta}{\partial y}$$

und mit einer scheinbaren Diffusionszahl ε *(eddy diffusivity)* für den Stoffstrom

$$g = -(D + \varepsilon) \frac{\partial c}{\partial y} ,$$

wobei ϱ die Dichte, λ die Wärmeleitfähigkeit, c_p die auf die Masseneinheit bezogene spezifische Wärme, D die Diffusionszahl, $\partial\vartheta/\partial y$ und $\partial c/\partial y$ das Temperatur- bzw. das Konzentrationsgefälle ist. Die Größe $\varrho\,\varepsilon$ wird auch Austausch genannt. Aus Messungen ging hervor, daß bei freier Turbulenz (keine Wände) $\varepsilon_q/\varepsilon_\tau = 2$ und bei turbulenten Reibungsschichten an Platten und Rohren $\varepsilon_q/\varepsilon_\tau = 1{,}4$ bzw. 1,5 ist. Bei einer turbulenten Strömung längs einer Wand können in den Gleichungen für τ, q und g die Größen ε_τ, ε_q und ε in der laminaren Grenzschicht und die Größen ν, λ, D im turbulenten Bereich vernachlässigt werden. Damit ergibt sich als eine wichtige Anwendung der Turbulenztheorie die Möglichkeit, aus Geschwindigkeitsverteilungen die Temperatur- bzw. Konzentrationsverteilungen zu berechnen und damit auch Wärme- und Stoffübergangszahlen zu ermitteln. [5]

engl.: eddy diffusivity
franz.: échanges en régime turbulent

Lit.: H. Schlichting, Grenzschicht-Theorie, Verlag G. Braun, Karlsruhe, 1951. – C. F. Bonilla, Nuclear Engineering, McGraw-Hill, 1957.

AVR, s. Arbeitsgemeinschaft.

B

Beobachtersystem, s. Laborsystem (Nachtrag).

Bereich, kontrollierter, Bereich, in dem die Strahlenauswirkung auf die dort Beschäftigten von einem Sicherheitsbeauftragten überwacht wird, z. B. eine Leistungsreaktoranlage, Brennstoffaufbereitungsanlagen, Isotopenlaboratorien. [7]
engl.: controlled area
franz.: district contrôlé, région sous contrôle

Brennstoffkassette, eine mechanische Zusammenfassung von mehreren Brennstoffelementen und (gewöhnlich auch) anderen Bauelementen, die in einzelnen Reaktoren als ganzes eingesetzt wird. Der Hauptgrund hierzu liegt in Erleichterung der Herstellung und des Beschickungsvorgangs. [11]
engl.: fuel assembly
franz.: cartouche pour éléments combustibles

Bestrahlungsverhältnis, optimales, Verhältnis zweier Bestrahlungen eines Stoffes über gleiche Zeiten, wovon die erste an einer ausgezeichneten Stelle im Reaktor, die zweite an einer Bezugsstelle erfolgte. [7]
engl.: advantage factor
franz.: facteur d'irradiation optimale

Betaradiographie, Nachweis von β-Strahlung mittels photographischer Filme, insbesondere hinter Absorbern zur Feststellung von Gestalt, Masse oder inneren Fehlern des absorbierenden Materials. [16]
engl.: β radiography
franz.: radiographie bêta

C

Calder Hall-Reaktoren

Calder Hall-Reaktoren, verbesserte, graphitmoderierte, gasgekühlte heterogene Reaktoren mit natürlichem Uran als Brennstoff:

Im Bau sind:

	Zahl der Reaktoren	Leistung
Bradwell on Sea Power Station, Essex, England	2	300 eMW
Berkeley Power Station, Gloucestershire, England	2	275 eMW
Hinkley Point Power Station, Somerset, England	2	500 eMW
Hunterston Power Station, Schottland	2	300 eMW

Geplant sind 3 weitere Kraftwerke bei Trawsfynydd, Edern und Dungeness Leuchtturm.

Im Unterschied zu den *Calder Hall-Reaktoren steht bei den verbesserten C. H.-R. die Energieerzeugung an erster, die Pu-Erzeugung an zweiter Stelle. Sie arbeiten daher mit größeren Abbränden der Brennstoffelemente über den Punkt maximalen Pu-Zuwachses hinaus (bei Calder Hall etwa 500 MWd/tU, bei den neuen 3000 MWd/tU und mehr). In der letzten Phase der Betriebsdauer eines Brennstoffelementes trägt daher die Pu-Spaltung zur Energieerzeugung wesentlich bei. Dadurch erfolgt eine Verschiebung des negativen Temperaturkoeffizienten zu positiven Werten. Aus wirtschaftlichen Gründen, insbesondere um den hohen Abbrand zu erreichen, ist quasikontinuierliche Auswechslung der Brennstoffelemente während des Reaktorbetriebes vorgesehen. Pu-Rückführung ist zunächst nicht geplant. Zur Verbesserung der Wirkungsgrade wurde durchweg die spezifische Leistung des Brennstoffs (MW/tU), sowie die Kühlgasdrücke erhöht. Diese Erhöhungen wurden teilweise erst durch die beim Bau der Calder Hall Reaktoren gesammelten technischen Erfahrungen (Bau des Druckkessels usw.) ermöglicht. Erweiterte Beachtung wurde auch der Neutronenfluß- bzw. Leistungsglättung geschenkt. Als weitere kon-

Calder Hall-Reaktoren

Ort	Calder Hall 4 Reaktoren	Bradwell 2 Reaktoren	Berkeley 2 Reaktoren	Hunterston 2 Reaktoren
Inbetriebnahme	1956–1958	1960	1960–1961	
Leistung eMW (netto)	184	300	275	300
Uranmenge t pro Reaktor	120	240	250	250
Zahl der Brennstoffkanäle	1696	2620	3000	3288
Brennstoffelement Länge cm	100	91	46	61
Hülsenmaterial	Mg-Legierung	Mg-Legierung	Mg-Legierung	Mg-Legierung
Kerndimensionen H, D m	D: 9,45, H: 21,4	D: 12,2, H: 7,8	D: 12,8, H: 7,3	D: 13,4, H: 7
Graphitmenge t	1150	1910	2000	2150
Druckkessel Gestalt	Zylinder	Kugel	Zylinder	Kugel
Druckkessel Dimension m	iD: 11,3, H: 21,4	D: 20,4	D: 15,25, H: 24,4	D: 21,4
Druckkessel Wandstärke cm	5,1	7,6	7,6	7,3
Gasdruck at	7	10,5	8,8	10,5
Gas-Eintrittstemp. °C	140	180	160	204
Gas-Austrittstemp. °C	336	390	350	396
Hochdruckdampf Temp. °C	313	372	322	372
Hochdruckdampf Druck at	14,7	53,7	23,2	41,5
Niederdruckdampf Temp. °C	171	372	322	298
Niederdruckdampf Druck at	4,4	14,7	5,4	11,2

struktive Verbesserung sind die neuen verkürzten Brennstoffelemente zu erwähnen. Dadurch ist es möglich geworden die Kanäle von unten zu beschicken (teilweise durchgeführt). Beschickung von unten hat den Vorteil, daß sie einmal vom kälteren Teil des Reaktors her erfolgt, zum anderen, daß die von oben erfolgende Reaktorsteuerung nicht gestört wird. Die vorstehende Tabelle gibt eine Übersicht über die vorgesehenen Veränderungen. [25]
engl.: advanced Calder-Hall type

D

DCX, Abk. für *Direct Current Experiment,* in Oak Ridge erbaute Anlage zum Studium von Fusions-Problemen. Bei dieser Vorrichtung wird ein 0,5 mA Strahl molekularer Deuteriumionen mit einer Energie von 600 keV in eine Vakuumkammer, welche von magnetischen *Spiegeln begrenzt ist (magnetische *Flasche), eingeschossen. Der Strahl wird so gelenkt, daß er auf einen Kohlelichtbogen auftrifft, welcher in der Achse der Spiegelgeometrie brennt. Der eintretende Strahl der Deuteriummolekülionen wird im Beginn stark dissoziiert. Während das neutrale Atom aus dem Feld entweichen kann und verlorengeht, bewegt sich das Atomion weiterhin auf einer Kreisbahn innerhalb der Spiegelgeometrie. Der Durchmesser der Kreisbahn ist halb so groß wie der des molekularen Ions in demselben Feld. – Der Weg des Lichtbogens ist durch das magnetische Feld bestimmt. In hohem Vakuum können Bögen von 1 bis 2 m Länge brennen. Der Bogen dissoziiert nicht nur den molekularen Strahl, sondern erhöht das Vakuum; er wirkt wie eine Pumpe von hoher Sauggeschwindigkeit. Deuteriumionen gehen durch Ausfluß an den Enden der magnetischen Flasche und durch Zusammenstöße mit neutralen Atomen (Ladungsaustausch) verloren. – Eine größere Maschine, Orion, soll gebaut werden, die auch noch die möglicherweise entstehenden Fusionsprodukte haltern soll. Diese wird

ebenfalls einen Kohlebogen bei einem zentralen Magnetfeld von 35 000 Gauß haben. Der Leistungsverbrauch wird etwa 15 MW betragen.

S. a. Astron, Equator, Fusion, Ixion, Magnethydrodynamik, Ogra, PAM, Perhapsotron, Pinch-Effekt, Scylla, Stellerator, Table-Top, Triax. [27]

Lit.: P. R. Bell et al., Description of the Oak Ridge Thermonuclear Experiment, Proc. 2nd UN Conf. on the Peaceful Uses of Atomic Energy, P 344, Genf, 1958.

Deflektor, Vorrichtung zur Ablenkung beschleunigter geladener Teilchen von ihrer normalen Bahn mittels elektrostatischer und/oder magnetischer Kräfte in einem Beschleuniger. [24]

engl.: deflector

franz.: déflecteur

denaturieren, bei spaltbarem Material das Zusetzen eines nicht spaltbaren Isotops, das das Material für den Gebrauch bei Atomwaffen (ohne kostspielige und schwierige weitere Aufbereitung) ungeeignet macht. [24]

engl.: to denaturate

franz.: dénaturer

Diffusionskühlung, Erniedrigung der Temperatur thermischer Neutronen (Maxwell-Verteilung, s. Neutronentemperatur) in einem endlichen, schwach absorbierenden Medium unter die Temperatur dieses Mediums infolge Neutronenströmung nach dem Rande zu. Die Energie der gerichteten Strömung wird der thermischen Energie entzogen. Die Temperaturdifferenz $T_0 - T$ ist in 1. Näherung proportional zur Flußwölbung B^2. Bei thermischen Neutronen in Wasser ergibt sich bei $B = 0{,}5\ \mathrm{cm}^{-1}$ $T_0 - T \approx 20\ °\mathrm{C}$. [7]

engl.: diffusion cooling

franz.: refroidissement par diffusion

Lit.: G. von Dardel, N. G. Sjöstrand, Physic. Rev. 96, 1245 (1954).

Diffusionszeit. Bei der Diffusion in einem Moderator werden thermische Neutronen allmählich durch Einfangreaktionen absorbiert. Ist λ_a die mittlere freie Weglänge für Absorption und v die Neutronengeschwindigkeit, so ist die D. (= mittlere Lebensdauer) der Neutronen in dem betreffenden Stoff $\vartheta = \lambda_a / v$. Die D. ist mit der *Diffusionslänge L und dem *Diffusionskoeffizienten D durch die Beziehung $\vartheta = (L/D\,v)^2$ ver-

knüpft. Zahlenwerte für verschiedene Moderatorsubstanzen siehe unter *Bremszeit. [11]
engl.: diffusion time *franz.: temps de diffusion*

Dirac-Gleichung, s. D i r a c sche Theorie des Elektrons.
engl.: Dirac equation *franz.: équation de Dirac*

Diracsche Theorie des Elektrons entstand aus dem Versuch, die gewöhnliche S c h r ö d i n g e r - Gleichung für das Elektron in einer relativistisch invarianten Form zu schreiben (1926). Die relativistische S c h r ö d i n g e r - Gleichung erwies sich als mit der Erfahrung nicht im Einklang, da sie den Spin nicht beschrieb. D i r a c versuchte daher auf einem anderen Wege als S c h r ö d i n g e r zu einer relativistisch invarianten Gleichung zu kommen (1928): Während die S c h r ö d i n g e r sche Gleichung eine Diff.-Gleichung 2. Ordnung ist, versuchte D i r a c gemäß einem allgemeinen Prinzip zu einer Gleichung 1. Ordnung zu kommen. Das geht nicht im Bereich der gewöhnlichen Zahlen, wohl aber mit Hilfe von Matrizen, ähnlich wie $a^2 + b^2$ im Bereich der reellen Zahlen nicht in Linearfaktoren zu zerlegen ist, wohl aber im Bereich der komplexen Zahlen. So gewinnt D i r a c seine Gleichung des Elektrons (für den kräftefreien Fall)

$$\frac{\hbar}{i}\left\{\alpha_x \frac{\partial\psi}{\partial x} + \alpha_y \frac{\partial\psi}{\partial y} + \alpha_z \frac{\partial\psi}{\partial z} - \frac{1}{c}\frac{\partial\psi}{\partial t}\right\} + \beta \cdot m_0\, c\, \psi = 0\,.$$

m_0 Ruhmasse des Elektrons, c Lichtgeschwindigkeit, $\hbar$ P l a n c k sches Wirkungsquantum/2 π, $i = \sqrt{-1}$. Die D i r a c schen Matrizen α_i sehen folgendermaßen aus:

$$\alpha_x = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad \alpha_y = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & -i \\ 0 & 0 & +i & 0 \\ 0 & -i & 0 & 0 \\ +i & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\alpha_z = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad \beta = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

Sie sind dadurch (im Nebensächlichen übrigens nicht

eindeutig) bestimmt, daß das Quadrat der Dirac-schen Gleichung die relativistische Schrödinger-Gleichung geben muß. – Die obige Gleichung ist nur dann sinnvoll, wenn die Produkte der α-Matrizen mit der ψ-Funktion und ihren Ableitungen erklärt wird. Entsprechend den hier als Matrizen dargestellten Koeffizienten muß auch die ψ-Funktion eine Matrix sein, und zwar nach den Matrizenmultiplikationsgesetzen eine einspaltige viergliedrige Matrix.

$$\psi = \begin{pmatrix} \psi_1 \\ \psi_2 \\ \psi_3 \\ \psi_4 \end{pmatrix}$$

Ein derartiges Gebilde nennt man einen Spinor. Zwei der Komponenten entsprechen den beiden verschiedenen Spinorientierungen. Daß die D. T. doppelt so viel verschiedene ψ-Funktionen liefert als zur Beschreibung des Spins notwendig wäre, liegt an den Zuständen negativer Energie, die die D. T. zusätzlich in sich enthält. Das Auftreten dieser grundsätzlichen Schwierigkeit überwand Dirac durch die Annahme, daß alle Zustände negativer Energie besetzt seien. Doch muß es möglich sein, durch Zuführung positiver Energie etwa in Form von Strahlung ein Elektron aus dem Zustand negativer Energie herauszubringen. Es wird dann nämlich ein gewöhnliches Elektron positiver Energie. In der Gesamtheit der Zustände negativer Energie aber entsteht gleichzeitig ein Loch. Da alle anderen Zustände negativer Energie mit Teilchen negativer Ladung besetzt sind, wird dieses Loch sich gegenüber dem Normalzustand der Vollbesetzung durch die fehlende negative Ladung – das ist gleichbedeutend mit dem Auftreten einer positiven Ladung – bemerkbar machen. Insgesamt entsteht also durch die Strahlungsenergie ein Elektron mit negativer und eines mit positiver Ladung, ein *Elektronenpaar (s. a. Paarerzeugung). 1932 wurde das positiv geladene Elektron auf einer Nebelkammeraufnahme entdeckt. Es erhielt den Namen Positron. Damit war die D. T. experimentell bestätigt. Den das Positron betreffenden Teil der Theorie bezeichnet man als Löchertheorie. Die D. T. beschreibt den mechanischen Drehimpuls des Elektrons, den *Spin und das damit verbundene magnetische Moment in Übereinstimmung mit der Erfahrung.

Man hat dann versucht, die Theorie auch auf andere Elementarteilchen anzuwenden, die wie das Elektron den Spin $^1/_2$ haben: das Neutrino, das Proton und das Neutron. Es müßte dann auch dazu Antiteilchen geben. Das Antiteilchen zum Proton (Antiproton) ist 1955 entdeckt worden. Damit dürfte gesichert sein, daß das Proton ebenso wie das Elektron durch eine Dirac-Gleichung beschrieben werden kann. Das gleiche gilt zweifellos auch für das Neutron (1957). – Es gibt einige Schwierigkeiten bei der Übertragung der Diracschen Theorie auf Protonen und Neutronen. Die bekannteste Diskrepanz besteht in den magnetischen Momenten. Nach der Diracschen Theorie sollte dem Proton ein magnetisches Moment von 1 Kernmagneton zukommen, während das Neutron als neutrales Teilchen kein magnetisches Moment aufweisen dürfte. Tatsächlich aber hat ein Proton ein Moment von 2,7896 Kernmagnetonen und ein Neutron von − 1,910 Kernmagnetonen. Die Überwindung dieser Diskrepanz ist der Diracschen Theorie ohne Zusatzannahmen (mit Hilfe der *Mesonentheorie der Kernkräfte) nicht möglich. [7]

engl.: Dirac's theory

franz.: théorie de Dirac

Lit.: Lehrbücher der Quantenmechanik, insbes. A. Sommerfeld, Atombau und Spektrallinien, II, 3. Aufl., Vieweg, Braunschweig, 1950. – Kramers, H. A., Quantentheorie des Elektrons und der Strahlung, Hand- und Jahrbuch der chemischen Physik, Bd. 1, Abschnitt II, Akad. Verl.-Ges., Leipzig, 1933.

Doppler-Effekt, ein 1842 von Christian Doppler beim Schall entdeckter Effekt, der die Abhängigkeit der registrierten Frequenz ν eines Wellenvorgangs vom Bewegungszustand sowohl des Erregungszentrums als auch des Beobachters relativ zum Trägermedium des Wellenvorgangs erfaßt. Man spricht von einem akustischen und einem optischen D.-E. Ist ν_0 die Frequenz für den Fall der Ruhe, c die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Wellenvorgangs und v die Geschwindigkeit des Beobachters in Richtung auf das Erregungszentrum, das im Trägermedium ruhe, so gilt

$$\nu = \nu_0 \left(1 + \frac{v}{c}\right). \quad (1)$$

Sind der Beobachter und das Trägermedium in Ruhe

und bewegt sich das Erregungszentrum mit der Geschwindigkeit v auf den Beobachter zu, so gilt

$$\nu = \frac{\nu_0}{1 - v/c} . \tag{2}$$

Nimmt der Abstand zu statt ab, so kehren sich die Vorzeichen von v/c um. Bewegen sich sowohl Beobachter (Geschwindigkeit v) als auch Erregungszentrum (Geschwindigkeit v') relativ zum Trägermedium, ist die Frequenz gegeben durch

$$\nu = \nu_0 \frac{1 + v/c}{1 - v/c} . \tag{3}$$

Ist $v \ll c$, so gehen (2) und (1) ineinander über, da bis auf quadratische und höhere Glieder in v/c

$$\frac{1}{1 - v/c} = 1 + \frac{v}{c} . \tag{4}$$

Dies ist für den optischen D.-E. wichtig zu bemerken, da es für die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen kein Trägermedium gibt. Die Auffassungen (1) und (2) müssen demzufolge zu dem gleichen Ergebnis führen, solange man auf die quadratischen und höheren Glieder in v/c verzichtet. Über diese macht erst die Reaktivitätstheorie eine Aussage.

Im übertragenen Sinne spricht man vom D.-E. bei der Auswirkung der Resonanzen in der Wirkungsquerschnittsfunktion $\sigma(E)$ auf den effektiven Wirkungsquerschnitt. Unter E ist die Energie der Relativbewegung zu verstehen, die sich aus der Neutronenbewegung im Beobachtersystem und der (thermischen) Bewegung der Kerne zusammensetzt. Dies führt dazu, daß die Resonanzlinie breiter erscheint. Man bezeichnet dies als *Doppler-Verbreiterung. [7, 24]
engl.: Doppler effect
franz.: effet de Doppler

Dresden Nuclear Power Station ist das erste in den USA im Bau befindliche kommerzielle Großkraftwerk mit Siedewasserreaktor, Standort 80 km südlich Chikago, Planung und Bauleitung General Electric Co., Eigentümer Commonwealth Edison Company, Fertigstellung der Anlage Ende 1959. Das Kraftwerk ist für

624 MW thermisch bzw. 180 MW elektrisch ausgelegt. Abb. 1 zeigt einen Schnitt durch das Kraftwerk. Der gesamte nukleare Teil befindet sich in einer Stahlkugel mit 57,9 m Durchmesser und 3,18 bis 3,5 cm Wandstärke. Abb. 2 zeigt das Fließschema. Der Reaktor arbeitet nach dem *Dual-Cycle*-Prinzip, also mit einem Zwei-Kreislauf-System. Dabei wird neben dem Dampfkreislauf, der vom Reaktor unmittelbar ohne Wärmetauscher zur Turbine führt, noch ein Heißwasserkreislauf betrieben, mit dem in einem Sekundärwärmetauscher zusätzlich Dampf geringerer Qualität erzeugt wird. Primärdampf 70,3 atü, 285 °C, 638 t/h, Sekundärdampf (bei Vollastbetrieb) 35 atü, 240 °C, 538 t/h. Dieses System ermöglicht im Gegensatz zum einfachen Dampfkreislauf eine höhere spezifische Leistung im Brennstoff und verleiht dem Reaktor gegenüber Lastschwankungen größere Anpassungsgeschwindigkeit und Stabilität. Abb. 3 zeigt den Reaktorkessel, Höhe 12,2 m, Durchmesser 3,66 m, plattiert mit rostfreiem Stahl. Etwa in der Mitte des Kessels ist die Spaltzone mit 488 Brennstoffelementen und 80 Regelstäben, Höhe 3,05 m, Durchmesser 3,21 m, Regelstabantrieb von unten. Als Brennstoff dient auf 1,5 % angereichertes Uranoxyd, das in Pillenform (gepreßt und gesintert) in Zircaloy-2 Rohre eingefüllt ist, als Wärmeübertragungsmedium zwischen Pille und Rohr dient He. 4 Rohre aufeinandergesteckt bilden einen Brennstoffstab. 36 solcher Stäbe zu einem quadratischen Stabbündel zusammengefaßt (mit Zwischenraum zwischen den einzelnen Stäben) und mit einem weiteren Zircaloy-2 Blech umgeben, bilden ein Brennstoffelement (Abb. 4).

Das Kühlwasser tritt von unten in den Reaktor ein, wird durch einen Diffusorkorb gleichmäßig verteilt und durchströmt die Brennstoffelemente. Als Wasser-Dampf-Gemisch verläßt es die Elemente und steigt in die darüberliegende Dampftrommel, in der der Dampf abgetrennt und direkt zur Turbine geleitet wird. Das Wasser nimmt seinen weiteren Weg über eine Umwälzpumpe und den Sekundärdampferzeuger in den Reaktor zurück. Vier solcher Wasserkreisläufe werden aus zwölf Fallrohren von der Dampftrommel her gespeist.

Dresden Nuclear Power Station

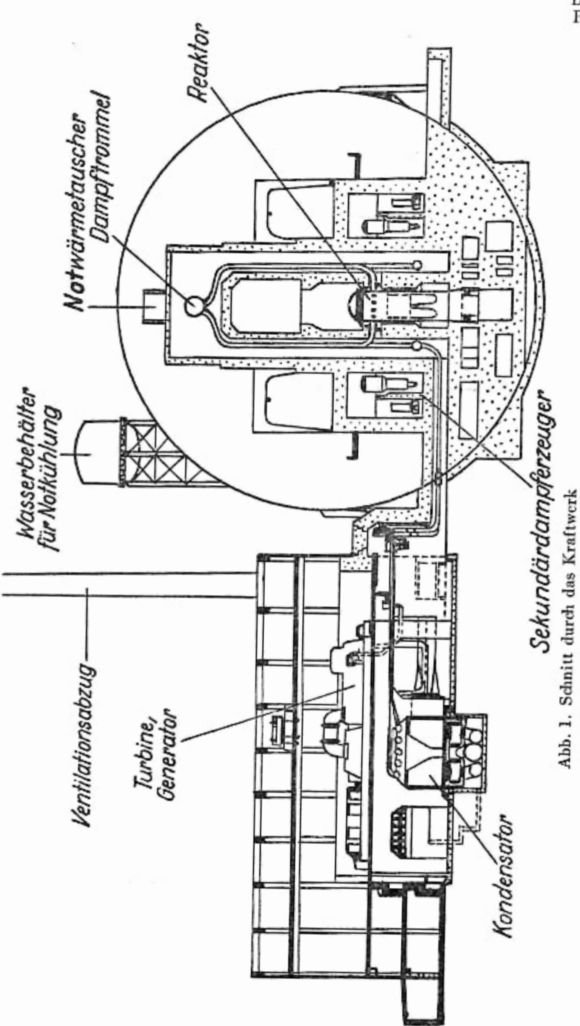


Abb. 1. Schnitt durch das Kraftwerk

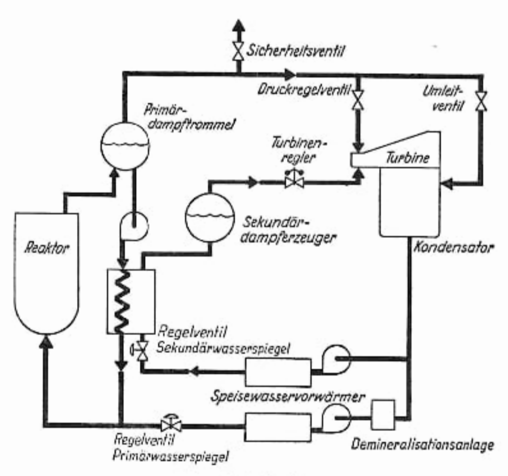


Abb. 2. Fließschema

Die Verbindung zwischen Reaktor und Primärdampftrommel bilden zwölf Steigrohre (Abb. 5). Die Leistungsregelung erfolgt bei Nennlast hauptsächlich mit den Sekundärdampferzeugern.

Parallel zu den Wasserkreisläufen ist eine kontinuierlich arbeitende Reinigungsanlage geschaltet. Außerdem wird in einer weiteren Anlage das in den Reaktor zurück zu fördernde Kondenswasser sehr sorgfältig gereinigt. Es muß auf jeden Fall vermieden werden, daß größere Mengen von Fremdstoffen in den Reaktor gelangen. Neben Elementschäden, die sie in der Siedezone hervorrufen können, besteht die Gefahr, daß sie als langlebiger Strahler den Reaktor verlassen, in den Dampfkreislauf gelangen und die Turbine auf lange Zeit hinaus verseuchen. Zwar ist der Primärdampf generell leicht verseucht und der Turbinenraum auch im Normalbetrieb nicht betretbar, doch handelt es sich im wesentlichen um kurzlebige γ-Strahler (N^{16} und O^{19}), die schon bald nach Abstellen des Reaktors eine evtl. durchzuführende Reparatur nicht mehr wesentlich behindern.

Neben den Regelstäben ist zur Abschaltung, evtl. Not-

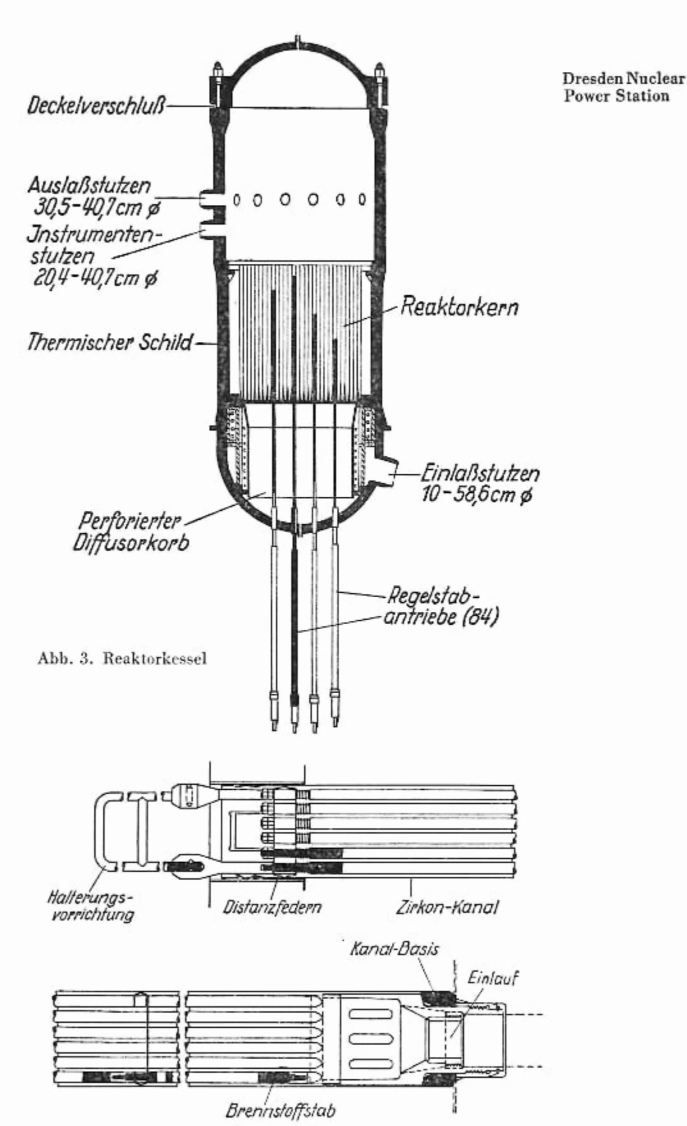


Abb. 3. Reaktorkessel

Abb. 4 a. Brennstoffkanal, Längsschnitt

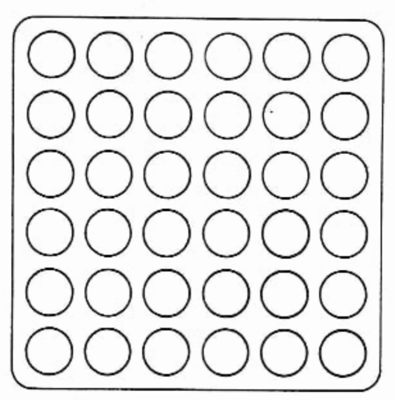


Abb. 4 b. Brennstoffkanal, Querschnitt

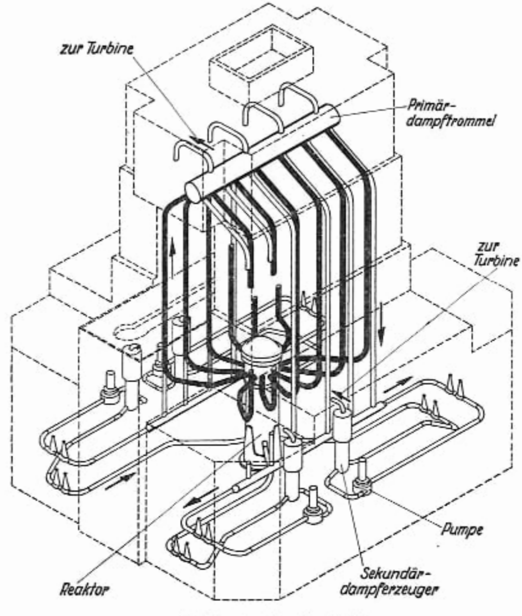


Abb. 5. Reaktorkreisläufe

abschaltung des Reaktors, eine Borlösung vorgesehen, die mit Überdruck eingespritzt werden kann. [25]
Lit.: Progress on Dresden Station, Presented at the ASME Annual Meeting, New York, 1956.

Driftröhren, Hohlleiter in Linearbeschleunigern, welche die durchlaufenden, zu beschleunigenden Teilchen während der Verzögerungshalbwellen im beschleunigenden Feld gegen das Feld abschirmen. [24]
franz.: tubes de dérive

Druckkoeffizient der Reaktivität, die Änderung der Reaktivität als Folge von Änderungen des Druckes um 1 Einheit. Analog zu *Temperaturkoeffizient. [7]
engl.: pressure coefficient
franz.: coefficient de pression

DTTR, Abk. für *Danish Tank Type Reactor*, den im dänischen Atomforschungszentrum Risö im Bau befindlichen 5000 kW-Forschungsreaktor der Dänischen Atomenergiekommission. Auf 20 % U-235 angereichertes Uran als Brennstoff, Wasser als Moderator und Kühlmittel. Lieferung durch Foster Wheeler Corp., USA, Fertigstellung Anfang 1958. [24]

Dubna, neu erbautes Städtchen, 150 km nördlich von Moskau an der Wolga gelegen. Bekannt durch das dort befindliche *Vereinigte Institut für Kernforschung. [11]

E

Energiefreisetzung je Spaltung im Reaktor, die im Kernreaktor bei der Spaltung eines Kerns freiwerdende Energie. Diese setzt sich aus der (prompten und verzögerten) Spaltenergie (191 MeV, s. Kernspaltung) und aus der Energie der Einfangstrahlung E_ϱ (n, γ-Prozesse) zusammen, also:

$$E \approx 191 + E_\varrho \text{ (MeV/Spaltung)}.$$

E_ϱ hängt vom Reaktortyp ab. Nach Tab. 1 ist für einen typischen Natururan-Graphitreaktor $E_\varrho \approx 8$ MeV, nach Tab. 2 für einen wassermoderierten Reaktor $E_\varrho \approx 3$ MeV.

Tab. 1.
Einfangstrahlung in einem Natururan-Graphitreaktor

	^{238}U	^{235}U	Al-Hülsen	Graphit
Absorpt./Sp.	0,695	0,185	0,005	0,254
MeV/Absorpt.	6,8	6,8	12,6	5,6

Tab. 2.
Einfangstrahlung in einem Schwimmbeckenreaktor

	^{238}U	^{235}U	Al-Hülsen	Wasser
Absorpt./Sp.	0	0,185	0,090	0,274
MeV/Absorpt.	0	6,8	12,6	2,23

Die E. j. S. kann also zu etwa 200 MeV $= 3{,}2 \cdot 10^{-11}$ W s angenommen werden. Zur Erzeugung von 1 W ist daher eine Spaltungsrate von $3{,}1 \cdot 10^{10}\,s^{-1}$ erforderlich, das sind bei ^{235}U $1{,}208 \cdot 10^{-11}\,g\,s^{-1}$. Daraus folgt die bekannte Faustregel, daß die Spaltung von 1 g ^{235}U pro Tag eine Leistung von rund 1 MW ergibt (der tatsächliche ^{235}U-Verbrauch ist wegen der nichtproduktiven Reaktionen höher).
Für die Energieerzeugung im Reaktor ist die Tatsache bedeutsam, daß die E. j. S. an verschiedenen Stellen des Reaktors (Spaltzone, Reflektor, Schild) mit verschiedenen Anteilen in Erscheinung tritt, s. Wärmequellenverteilung im Reaktor. [13]
engl.: energy release per fission
franz.: énergy libérée par fission
Lit.: S. Glasstone, Principles of Nuclear Reactor Engineering, McMillan, London, 1956.

Entgaser, Anlage zur Entfernung der radiolytischen Zersetzungsprodukte des Wassers (vor allem Knallgas) aus dem inneren Kreislauf eines mit Wasser moderierten und gekühlten Forschungsreaktors.

Equator, Torusanlage, erbaut durch C.E.A. im Fontenay-aux-Roses-Laboratorium in Frankreich, zum Studium der Aufheizung eines Plasmas zur Erzeugung von Fusionsprozessen. Der Torus von 78 cm Gesamtdurchmesser und 8 cm Rohrdurchmesser besteht aus Pyrex. Ein äußeres Magnetfeld stabilisiert das Plasma für die

Dauer einiger Zehntel Mikrosekunden. Der Spitzenstrom beträgt 50 kA. Eine größere Anlage unter der Bezeichnung T.A. 2000 besitzt einen Torusdurchmesser von 200 cm und einen Rohrdurchmesser von 26 cm. [27]

Lit.: R. Aymer et al., Studies on Controlled Fusion in France, Proc. 2nd UN Conf. on the Peaceful Uses of Atomic Energy, P 1181, Genf, 1958.

Ermüdungsverhältnis, Dauerfestigkeit dividiert durch Zugfestigkeit, in Deutschland ungebräuchlich. [7]

engl.: endurance ratio
franz.: rapport d'endurance

Eurochemic, Europäische Gesellschaft für die chemische Aufbereitung bestrahlter Kernbrennstoffe, ist das erste europäische Gemeinschaftsunternehmen auf dem Atomgebiet. Gegründet für die Dauer von vorerst 15 Jahren im Rahmen der OEEC von folgenden 12 Ländern (proz. Anteil an der Finanzierung von insgesamt $ 20 Mio):

Deutschland	(17 %)	Schweiz	(7,5 %)
Frankreich	(17 %)	Dänemark	(5,5 %)
Belgien	(11 %)	Norwegen	(5 %)
Italien	(11 %)	Österreich	(5 %)
Schweden	(8 %)	Türkei	(4 %)
Niederlande	(7,5 %)	Portugal	(1,5 %)

Rechtsform einer internationalen Gesellschaft mit dem Charakter einer Aktiengesellschaft; besonders bemerkenswert als privat-wirtschaftliches Unternehmen auf der Grundlage europäischen Rechtes. Art der Kapitalaufbringung in den einzelnen Ländern verschieden; in der Bundesrepublik je zur Hälfte Staat und Industrie.
E. errichtet eine *Kernbrennstoffaufbereitungsanlage auf dem Gelände des belgischen Reaktorzentrums *Mol mit zunächst 100 t Jahreskapazität, die nach dem Verfahren der Aufbereitung in wässeriger Lösung arbeiten soll. Vorgesehene Beschäftigtenzahl 400 bis 500 Personen, Bauzeit etwa 2½ Jahre. [10]

F

Felix, s. Table Top.

Flasche, magnetische, s. Spiegel, magnetischer.

Fluß, mikroskopischer, Flußverlauf in der *Reaktorzelle. Zur vereinfachten Berechnung eines heterogenen Reaktors denkt man sich den thermischen, z. B. zylinderförmigen Reaktor in zylindrische Zellen zerlegt, deren jede einen Kühlkanal enthält. Der tatsächliche Fluß $\Psi(\mathfrak{r})$ läßt sich dann näherungsweise als Produkt $\Psi = \Phi \cdot \varphi$ darstellen. Mit φ wurde dabei der m. F. bezeichnet, der den Flußverlauf in der einzelnen Zelle zum Ausdruck bringt, mit Φ der für den ganzen Reaktor charakteristische makroskopische Fluß.

Der m. F. φ wird in der mikroskopischen *Reaktortheorie ermittelt, die sich mit der einzelnen Zelle befaßt. In einem zylindrischen Brennstoffstab ist $\varphi \sim I_0(\varkappa_0 r)$, wobei $\varkappa_0 = \sqrt{\Sigma_{aU}/D_U}$, während I_0 die modifizierte Besselfunktion I. Art bedeutet. [13]

engl.: microscopic flux

franz.: flux (à l'échelle) microscopique

Lit.: S. Glasstone u. M. C. Edlund, The Elements of Nuclear Reactor Theory, Van Nostrand, New York, 1952.

Fokker-Planck-Gleichung. Die F.-P.-G. tritt auf in der Betrachtung der Brownschen Bewegung und läßt sich phänomenologisch aus der Langevin-Gleichung

$$m\ddot{x} = -\frac{1}{B}\dot{x} + X$$

herleiten (Chandrasekhar). Die Langevin-Gleichung ist die Bewegungsgleichung der „Schwankungsbewegung" eines Brownschen Teilchens der Masse m entlang einer Koordinate x mit der „Beweglichkeit" B unter dem Einfluß einer Kraft X, die von der Wechselwirkung mit Teilchen der Umgebung herrührt. Die F.-P.-G. war ursprünglich nur für die Bewegung im Geschwindigkeitsraum dargestellt, wurde dann aber von Chandrasekhar auf die Bewegung im Ortskoordinatenraum erweitert. Die F.-P.-G. lautet in allgemeinen Riemannschen Koordinaten

$$\frac{D\psi}{Dt} = \frac{1}{\sqrt{g}} \sum_j \frac{\partial}{\partial q^j} \left\{ \sqrt{g} \left[\Sigma_i D^{ij} \frac{\partial \psi}{\partial q^i} - \dot{q}^j \psi \right] \right\}$$

wobei ψ eine Wahrscheinlichkeitsdichte (z. B. Maß für Teilchendichte) ist. Die F.-P.-G. wurde von Ross

streng aus der Liouville-Gleichung abgeleitet. In der obigen Gleichung sind die D^{ij} die Komponenten des Diffusionstensors, für den Einstein in seiner Theorie der Brownschen Bewegung einen einfachen Ausdruck, der mit der Viskosität zusammenhängt, angegeben hat. In neuerer Zeit verwendet man die F.-P.-G. zur Behandlung der Bewegung von Ladungsträgern in einem Plasma, zur Beschreibung von chemischen Reaktionen und von Kernreaktionen (u. a. z. B. auch die Bildung von Positronium). [27]

engl.: Fokker-Planck equation

franz.: équation de Fokker et Planck

Lit.: M. v. Smoluchowski, Ann. Phys. 21, 756, 1906. – A. Einstein, Ann. Phys. 17, 549, 1905. – S. Chandrasekhar, Rev. Mod. Phys. 15, 1, 1943. – J. Ross, J. Chem. Phys. 24, 375, 1956. – L. Spitzer et al., Phys. Rev. 80, 230, 1950 – H. J. Kaeppeler, Mitt. Forsch. Inst. Physik der Strahlenantriebe Nr. 8, Stuttgart, 1956.

G

Gesellschaft zur Förderung der kernphysikalischen Forschung e. V., Düsseldorf (GFKF). Die GFKF wurde am 29. 7. 1953 unter Beteiligung des Landes Nordrhein-Westfalen, der Wissenschaften und der Industrie gegründet. Die derzeitigen Mitglieder sind:

Land Nordrhein-Westfalen	Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft
TH Aachen	Ruhrstahl AG.
Universität Bonn	Ruhrgas AG.
Universität Köln	Duisburger Kupferhütte
Universität Münster	Friedrich Krupp AG.
Med. Akademie Düsseldorf	Henschel u. Sohn GmbH.
	Phoenix Rheinrohr AG.
	Deutsche Gold- u. Silberscheideanstalt (DEGUSSA)

Die Organe des Vereines sind:

Mitgliederversammlung
Verwaltungsrat
Wissenschaftlicher Rat
Geschäftsführender Vorstand

Nach Erledigung der ersten praktischen Aufgabe, das Land NRW beim Bau und Betrieb eines Zyklotrons für das Institut für Strahlungs- und Kernphysik der Universität Bonn zu unterstützen, hat sich die GFKF auf Grund einer Neufassung der Satzung vom 9. 1. 1958 unter anderem die neue Aufgabe gestellt, die Planung und Errichtung der Gemeinsamen Atomforschungsanlagen des Landes *Nordrhein-Westfalen zu übernehmen. [10]

gewichtslos nennt man eine radioaktive Substanz, die sich wegen ihrer geringen Masse jeder Gewichtsmessung entzieht und integral nur durch Strahlung meßbar ist. Der Begriff hat eine gewisse Dehnbarkeit. Im allgemeinen bezeichnet man radioaktive Substanzen mit einem Gewicht unter 10^{-6} Gramm als g.
Solche Substanzen können in Flüssigkeiten gelöst, an Oberflächen adsorbiert, oder in festen Körpern verteilt sein. Trotz der „Gewichtslosigkeit" können sie sich chemischen Reaktionen unterziehen, wenn auch oftmals gegenüber dem Verhalten makroskopischer Substanzmengen wesentliche Unterschiede auftreten, die meist im Adsorptions- und Sorptionsvermögen von Gefäßwandungen und von dispersoiden Verunreinigungen begründet sind. Diese mit bereits wenig Masse absättigbaren Effekte tauchen in der Makrochemie und Mikrochemie völlig als Nebeneffekte unter, sind jedoch in der Chemie der g.n Substanzen sehr wesentliche Erscheinungen. [16]
engl.: weightless
franz.: de masse négligeable

GFKF, s. Gesellschaft zur Förderung der kernphysikalischen Forschung e.V.

Ginnssche Gleichung, ein für die Auslegung von Leistungsreaktoren grundlegender Zusammenhang zwischen der maximalen Hülsentemperatur t_{Hm} und den Kühlmitteltemperaturen:

$$\frac{t_A - t_E}{t_{Hm} - t} = 2 \sin \beta \cdot \sin \frac{\pi l}{2L} .$$

Dabei bedeuten t_A, t_E und t, Auslaß-, Einsaß- und mittlere Temperatur des Kühlmittels. L ist die extrapolierte, l die faktische Länge des Kühlkanals.

Es ist ferner

$$\tang \beta = \frac{\mathrm{St} \cdot l\, U_e}{2\,\gamma(1-\varepsilon)F} \cdot \frac{1}{\sin(\pi\, l/2\,L)}$$

(mit der mittleren Stanton-Zahl St, dem effektiven Umfang U_e des Brennstoffelements und dem Kühlkanal-Querschnitt F). Der im Moderator freiwerdende Bruchteil der Spalt-Leistung wurde mit ε bezeichnet. Der longitudinale Formfaktor γ (maximaler Fluß, geteilt durch den mittleren) lautet bei cos-Verteilung des axialen Flusses

$$\gamma = \frac{\pi\, l}{2\,L \sin(\pi\, l/2\,L)}\,.$$

Die maximale Hülsentemperatur t_{Hm} hängt ihrerseits über die Wärmeleitungsgleichung mit der maximalen Urantemperatur t_{Um} zusammen. Beide Temperaturen sind durch die Wahl der Materialien vorgegeben, so daß die G. G. die zulässige mittlere Kühlmitteltemperatur t und die Aufwärmspanne $(t_A - t_E)$ festlegt. [13]

engl.: Ginns equation

franz.: équation de Ginns

Lit.: The British Nuclear Energy Conference 1, No. 3, 228 (1956).

H

H-D-Empfindlichkeit von photographischen Schichten, von Hurter und Driffield angegebenes Empfindlichkeitsmaß, das in Amerika und England gebräuchlich ist. Zur Umrechnung in DIN-Empfindlichkeit kann folgende Faustformel dienen.

$$\mathrm{DIN}/10 = 10 \log \mathrm{HD} - 17{,}7. \qquad [6]$$

engl.: H-D sensitivity

franz.: sensibilité H-D

Lit.: E. v. Angerer, Wissenschaftliche Photographie, Geest & Portig, Leipzig, 1953.

Heizung, magnetoakustische, eines Plasmas, s. magnetoakustische Heizung (Nachtrag).

Heizung, Ohmsche, s. Ohmsche Heizung (Nachtrag).

Hydrokollag, Handelname wie *Aquadag.

I

inhärent, svw. innewohnend, eigen-. Z. B. ist die inhärente Sicherheit eines Reaktors die dem Reaktor auf Grund der Materialeigenschaften zukommende Sicherheit, die im wesentlichen auf den negativen *Temperaturkoeffizienten der Reaktivität zurückgeht. Ein solcher Reaktor wird bei irgendwie erfolgter Störung des Betriebs in Richtung auf erhöhte Temperaturen selbständig, also ohne Einwirken von Regelgeräten, auf den alten Zustand zurückstreben. [7]
engl.: inherent
franz.: inhérent

Inspektorschaltung ist die Bezeichnung für ein sich selbst steuerndes Impulstor. Es prüft in statistischer Folge einlaufende Impulse auf ihren zeitlichen Abstand und gibt einen Impuls nur weiter, wenn in einem bestimmten einstellbaren Zeitintervall vorher oder nachher kein weiterer Impuls ankommt. Es dient meist dazu, Impulse von der Auswertung auszuschließen, die so dicht aufeinander folgen, daß sie infolge der Eigenschaften der benutzten Schaltung sich in ihrer Größe beeinflussen würden. [6]
engl.: inspector circuit

Isotopen-Studiengesellschaft e.V., gemeinnütziger Verein zur Erforschung und Förderung der Anwendung radioaktiver Isotope in der Technik, Wirtschaft und Wissenschaft. Die Gesellschaft unterhält Forschungsinstitute (z. Z. Institut Wildbad, Institut im Gelände der Kernreaktor-Bau- u. Betriebs-GmbH., Karlsruhe, im Bau) zur Entwicklung von Anwendungsverfahren, Bearbeitung von Forschungsaufträgen, Beratung, Ausbildung und Dokumentation. Vereinssitz: Frankfurt/M., Vorsitzender: Prof. Dr. M. Pfender, Stellvertr.: Dir. Prof. R. Spolders, Dir. Prof. Dr. Nallinger, Schatzmeister: Dir. Dr. Pohl, Geschäftsführer: H. J. Marcinowski. Leiter des Institutes Wildbad: Prof. Dr. R. Berthold. [16]

IXION, in Los Alamos erstelltes Gerät zum Studium von Fusionsprozessen. Es handelt sich hier um eine Anordnung von magnetischen *Spiegeln, verbunden mit

einem radialen elektrischen Feld, welches das Plasma zum Rotieren bringt. Das Plasma wird entlang der Achse der beiden Spiegel von einem Generator eingebracht, der demjenigen von *PAM sehr ähnlich ist. Das Rotieren des Plasmas, welches durch die aufeinander senkrecht stehenden elektrischen und magnetischen Felder verursacht wird, scheint die Halterungswirkung der Spiegel zu vergrößern. S. a. Astron, DCX, Equator, Fusion, Magnetohydrodynamik, Perhapsotron, Pinch-Effekt, Scylla, Stellerator, Table Top, Triax. [27]

Lit.: J. L. Tuck et al., Review of Controlled Thermonuclear Research at Los Alamos, Proc. 2nd UN Conf. on the Peaceful Uses of Atomic Energy, P 1860, Genf, 1958.

K

Kahl, s. RWE-Atomversuchskraftwerk.

Kanaleffekt, Kanalfaktor, der zusätzliche (Diffusions-)Verlust von Teilchen durch Kanäle, Bohrungen oder Fugen, die ein (Abschirmungs-)Material durchziehen. [7]
engl.: channeling, channeling effect
franz.: pertes de canal

K-Faktor, Dosisleistung eines Gammastrahlers von 1 mC Aktivität in 1 cm Abstand in R ö n t g e n pro Stunde.
Der K.-F. ist für jeden Gammastrahler verschieden, entsprechend den verschiedenen, beim Zerfall ausgestrahlten Quanten. Dient zur Berechnung der Dosisleistung in bestimmtem Abstand vom Präparat. Der K-F. ist

$$K \approx 5{,}5 \cdot f \cdot E \ [\mathrm{r\,h^{-1}\,mC^{-1}}] \ [0{,}1 \leqq E \leqq 3{,}0\ \mathrm{MeV}]$$

mit E in MeV als Emissionsenergie der Quanten und f als Bruchteil der Zerfälle, die Quanten ausstrahlen. [6]
engl.: K-factor
franz.: facteur K

Klein-Gordon-Gleichung oder **relativistische Schrödinger-Gleichung** ist eine partielle Differentialgleichung zweiter Ordnung ähnlich wie die Wellenglei-

chung. Sie dient in der Quantenmechanik zur Beschreibung der Bewegung von Teilchen mit ganzzahligem Spin. Für den Fall eines einzelnen Teilchens, für das kein elektromagnetisches Feld vorhanden ist, lautet sie

$$\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2\psi}{\partial t^2} - \frac{m_0{}^2 c^2}{\hbar^2} \psi = 0$$

(m_0 Ruhmasse des Teilchens, c Lichtgeschwindigkeit, $\hbar$ Plancksches Wirkungsquantum/2π, ψ Wellenfunktion). Um das letzte Glied unterscheidet sie sich von der Wellengleichung der klassischen Physik. Die Gleichung ist praktisch gleichzeitig von Schrödinger, Klein und Gordon abgeleitet worden. Über ihre physikalische Bedeutung im Rahmen der Theorie s. Schrödinger-Gleichung und Mesonentheorie. [7]

engl.: Klein-Gordon equation

franz.: équation de Klein et Gordon

Lit.: Z. f. Phys. 1926.

Kruskal-Grenze. Die K.-G. gibt eine Grenzstromstärke für *Ohmsche Heizung in Plasmen an, die durch longitudinale Magnetfelder stabilisiert sind (s. Plasmastabilisierung). Oberhalb dieser kritischen Stromstärke treten hydromagnetische Instabilitäten im Plasma auf. Die Bedingung für die K. G. folgt aus der Beziehung

$$a \geqq \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \frac{H}{H_0},$$

wobei a der Radius der stabilen Plasmasäule, λ die Wellenlänge der Anregung, H das Eigenmagnetfeld der Entladung und H_0 das angelegte äußere Feld ist. Der elementare Zusammenhang zwischen magnetischer Feldstärke H und Stromstärke der Entladung (s. Pinch-Effekt) liefert die K.-G. [27]

engl.: Kruskal-limit

franz.: limite Kruskal

Lit.: M. D. Kruskal, NYO-6045 (PM-S-12), 1954. – L. Spitzer Jr., The Stellarator Program, Proc. 2nd UN Conf. on the Peaceful Uses of Atomic Energy, P 2170, Genf, 1958.

Kugelhaufen-Reaktor. Beim K.-R., der eine Abart des Graphit-moderierten, gasgekühlten Reaktors ist,

bestehen die Brennstoffelemente aus Kugeln von einigen cm Durchmesser, hergestellt aus gesintertem Graphit, in denen der Brennstoff sich entweder in homogener Verteilung oder in konzentrierter Form im Mittelpunkt der Kugel befindet. Die Kugeln liegen in natürlicher, loser Schüttung in einem zylindrischen Druckgefäß, das vom Kühlgas durchströmt wird. Als Vorteile des Reaktortyps gelten hohe Eigensicherheit, einfache Art der Leistungsregelung, die Möglichkeit, sehr hohe Temperaturen und einen hohen Abbrand zu erreichen sowie thermisch zu brüten.
Ein solcher, von R. Schulten angegebener K.-R. liegt dem Entwurf zugrunde, den sich die *Arbeitsgemeinschaft Deutscher Energieversorgungsunternehmen zur Vorbereitung der Errichtung eines Leistungsversuchsreaktors (AVR) von der Firmengruppe BBC/Krupp hat ausarbeiten lassen. Man rechnet damit, mit diesem *Hochtemperatur-Reaktor (HTR) solche Dampfzustände zu erreichen, die der moderne Dampfturbinenbau für Kraftwerke mit hohem thermischen Wirkungsgrad fordert (500–600 °C, 80–120 atü). Das Zuführen und Abziehen der Brennstoffelemente kann in einem kontinuierlichen Vorgang während des Betriebes erfolgen, ebenso wie das kontinuierliche Ausscheiden des gasförmigen Reaktorgiftes Xenon 135. [10]
engl.: pebble bed reactor

Kugelpackung, dichteste, eine Kristallstruktur mit der größtmöglichen Zahl von nächsten Nachbarn; jedes Atom hat 12 Nachbaratome. Die Beschreibung ist möglich im kubischen und im hexagonalen System. Im kubischen System ist das flächenzentrierte Gitter dichtest gepackt, d. h. eine Elementarzelle, deren jede Seitenfläche mit einem Atom besetzt ist. Im hexagonalen Gitter befindet sich in der Mitte des Prismas zusätzlich ein Atom außer den Eckatomen. Ist das Achsen-Verhältnis $c/a = 1{,}63$, so stellt die Struktur die dichteste Kugelpackung dar. Beide Gitterbeschreibungen kann man durch eine einfache geometrische Transformation ineinander überführen. Zahlreiche Metalle kristallisieren in dieser Struktur. [4, 26]
engl.: close packed structure
franz.: assemblage compact de sphères

Kühlkanal, zentraler, der i. a. durch die Reaktormitte führende Kühlkanal mit höchstem Fluß und damit höchster Wärmebelastung des Brennstoffelements. Vom Sicherheitsstandpunkt aus ist es wichtig, daß die vom Material bedingten Grenztemperaturen gerade im z. K. nicht überschritten werden (s. Kühlkanal, gefährdeter). Man berechnet daher in der Regel nur den z. n K. und schließt von ihm auf die anderen und den ganzen Reaktor durch Einführung passender *Formfaktoren. Ist P_0 die vom z. K. abgegebene Leistung und Z die Zahl der Kanäle, so ergibt sich die gesamte Reaktorleistung P gemäß

$$P = \frac{Z P_0}{\varkappa F_r} .$$

F_r ist dabei (im Fall des zylindrischen Reaktors) das Verhältnis Φ_{r_0}/Φ_r zwischen Maximalwert und Mittelwert der radialen Flußkomponente. Der Faktor $\varkappa$ gibt den in der Spaltzone freiwerdenden Energieanteil an (s. Leistungsdichte). [13]
engl.: central cooling channel
franz.: canal de refroidissement central

L

Laborsystem, auch Beobachtersystem, Bezugssystem, in dem der Beobachter und seine Instrumente ruhen. Daneben wird oft das Schwerpunktsystem benützt. [7]
engl.: laboratory system
franz.: système de référence au laboratoire

Lademaschine, Vorrichtung zur Einführung von neuen Brennstoffelementen in die Spaltzone des Reaktors und Entnahme von bestrahlten Elementen aus dem Reaktor. Bei letzterem müssen abschirmende Behälter zur Aufnahme und Transport der Brennstoffelemente zur Verfügung stehen. Die L. hat mitunter auch andere Aufgaben wie die der Einbringung von Brutstoff, überzähliger Regelstäbe, großer zu bestrahlender Gegenstände. [7]
engl.: loading machine *franz.: chargeur*

Larmorfrequenz. Ein Elektron im Atomverband führe mit den anderen Elektronen zusammen unter dem Einfluß der L o r e n t z - Kraft $\mathfrak{K} = -e/c(\mathfrak{v} \times \mathfrak{B})$ eine Zentralbewegung um den Atomkern aus. Dies sei vom Standpunkt eines mit der Winkelgeschwindigkeit $\mathfrak{w}$ rotierenden Systems aus beschrieben. Dabei treten neben den im Verband tatsächlich wirkenden Kräften von Kern, Elektronen und Magnetfeld noch die Scheinkräfte $-2m(\mathfrak{w} \times \mathfrak{v}') + m\,\mathfrak{r}_s\,\mathfrak{w}^2$ auf. Die gestrichenen Größen beziehen sich auf das rotierende System. Es sei im Mittel $|\mathfrak{w}'_s| \gg |\mathfrak{r}_s||\mathfrak{w}|$ ($\mathfrak{a}_s$ Komponente senkrecht zum Feld $\mathfrak{B}$) so daß die Zentrifugalkraft gegen die Corioliskraft vernachlässigt werden darf. Es folgt dann im rotierenden Bezugssystem

$$m\frac{\mathrm{d}\mathfrak{v}'}{\mathrm{d}t} = \mathfrak{K}_{\mathfrak{B}=0} - \frac{e}{c}[\mathfrak{v} \times \mathfrak{B}] + 2m[\mathfrak{v}' \times \mathfrak{w}]$$

$$\approx \mathfrak{K}_{\mathfrak{B}=0} - \frac{e}{c}[\mathfrak{v} \times \mathfrak{B}] + 2m[\mathfrak{v} \times \mathfrak{w}]\,.$$

Wird nun

$$\mathfrak{w}_{\text{Larmor}} = \frac{e\,\mathfrak{B}}{2\,m\,c}$$

gesetzt, dann folgt für die obigen Gleichungen

$$m\frac{\mathrm{d}\mathfrak{v}'}{\mathrm{d}t} \approx \mathfrak{K}_{B=0}\,.$$

$e\,B/2\,m\,c$ ist die L. Unter der Wirkung des Magnetfeldes nimmt also der Atomrumpf eine „Larmorpräzession" an. Dieser zusätzliche Ladungsumlauf ruft ein vom Magnetfeld induziertes magnetisches Moment des Atoms hervor. Verschiedentlich wird fälschlicherweise der Ausdruck L. für *Zyklotronfrequenz und Larmorradius für *Gyrationsradius verwendet. [27]
engl.: Larmon fregmency
franz.: fréquence de Larmor

Last oder Belastung ist in der Energiewirtschaft die jeweils in Anspruch genommene Leistung einer Maschine. [7]
engl.: load *franz.: puissance*

Laufzeitmethode, Verfahren zur Trennung von gleichen Teilchen verschiedener Energie unter Ausnutzung

der verschiedenen Flugzeit, s. a. Chopper. [7]
engl.: time-of-flight method
franz.: méthode de temps de transit

Laufzeitspektrometer, Gerät zur Analyse des Geschwindigkeits- bzw. Energiespektrums einer Teilchenstrahlung. L. werden vor allem zur Spektroskopie von Neutronen im Resonanzgebiet (Messung von Wirkungsquerschnitten) verwendet. Das Prinzip des L. beruht auf der Messung der Teilchengeschwindigkeit, indem die Zeit gemessen wird, welche die Teilchen zum Durchlaufen einer gegebenen Entfernung benötigen. Dies ist nur mit einer impulsweise arbeitenden Strahlungsquelle möglich. L. für Neutronen am Reaktor arbeiten mit einem mechanischen Zerhacker (*Chopper), der aus der kontinuierlichen Strahlung kurze Neutronenimpulse (Größenordnung μs) formt. Mit dem Detektor am Ende der Laufstrecke ist gewöhnlich ein Vielkanalanalysator verbunden, der die Detektorimpulse je nach der Laufzeit der auslösenden Teilchen in verschiedenen Kanälen (bis zu 1024) registriert. [11]
engl.: time of flight spectrometer
franz.: spectromètre de temps de transit

Leistungsrauschen, unregelmäßige natürliche Schwankungen der Reaktorleistung bzw. des entsprechenden Neutronenflusses infolge des unvermeidlichen Reaktivitätsrauschens in Reaktoren. Die Amplitudenverteilung des L. auf die verschiedenen Frequenzen ergibt sich aus dem Produkt der Amplitudenverteilung des Reaktivitätsrauschens mit dem jeweiligen Verstärkungsfaktor des Reaktorfrequenzganges. Dementsprechend sind die Amplituden des L. in dem hauptsächlich interessierenden Frequenzbereich 10^{-2} bis 10^{2} Hz je nach Größe und Schnelligkeit der Temperatureffekte etwa 10^{2}- bis 10^{3}mal größer als die zugehörigen Amplituden des Reaktivitätsrauschens. In der Praxis bleibt das L. fast immer merklich kleiner als 1 ⁰/₀. [9]
engl.: power fluctuations
franz.: fluctuations de la puissance

Lit.: J. Harrer, J. Deshoug, Nucleonics, Vol. 12, Heft 1, S. 44, 1954.

Lethargie ist definiert durch $u = \ln(E_0/E)$ und wird insbes. zur Beschreibung von Vorgängen gebraucht,

bei denen der Energieverlust von Neutronen (s. Neutronenbremsung) eine Rolle spielt. Für diese Probleme der Reaktortheorie bedeutet die Einführung des natürlichen Logarithmus der Neutronenenergie E eine Vereinfachung der Formeln. E_0 ist die Entstehungsenergie der Ionen; $u(E_0) = 0$, $u(E)$ eine positive Zahl, da $E < E_0$. [7]
engl.: lethargy
franz.: léthargie

Lindemann-Elektrometer, handliches Quadrantelektrometer mit sehr kleinem System, dessen Nadel ein an einem gespannten Quarzfaden befestigtes, dünnes metallisiertes Glasstäbchen ist. Es hat kleine Kapazität und mikroskopische Ablesung und ist besonders zur Messung schwacher Ionisationsströme geeignet. [7]
engl.: Lindemann electrometer
franz.: électromètre de Lindemann

M

Magnetoakustische Heizung eines Plasmas, Spezialfall des magnetischen *Pumpens. In diesem Fall ist die Periode der Pumpfrequenz annähernd so groß wie die Zeit, die ein (typisches) Ion braucht, um die Pumpstrecke der Länge L zu durchlaufen. Dabei soll ein solches Ion mehrere Stöße (mit Ablenkung um 90°) beim Durchlaufen von L ausführen. Die Energiedissipation erfolgt über magnetoakustische Wellen. Die Leistungsaufnahme des Plasmas geht bei höheren Temperaturen proportional $T^{3/2}$. S. a. Stellarator, Ohmsche Heizung, magnetohydrodynamische Wellen. [27]

Lit.: J. M. Berger et al., Heating of a Confined Plasma by Oscillating Electromagnetic Fields, Proc. of the 2nd UN Conf. on the Peaceful Uses of Atomic Energy, P 357, Genf, 1958. – A. I. Akhiezer et al., Theoretical Research on High-Frequency Properties of Plasma and Magnetohydrodynamic Shock Waves, P 2300, Genf, 1958. – K. D. Sinelnikov et al., Experimental Research on High Frequency Properties of Plasma and Magnetohydrodynamic Shock Waves, P 2211, Genf, 1958.

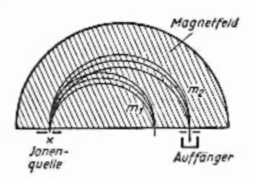
Mark I, II, III, verschiedene Konstruktionen, die in EBR-1 als Spaltzone eingesetzt wurden. Mark I arbeitete von Dez. 1950 bis Nov. 1955 (Defekt), Mark II

bis 1957, Mark III wurde im Herbst 1957 eingebaut. Der Reaktor hatte mit I und II einen prompten positiven und einen verzögert einsetzenden negativen Temperaturkoeffizient der Reaktivität. Daraus ergab sich eine resonanzartige Instabilität bei einer bestimmten Schwellenenergie, die für ein Zusammenschmelzen der Spaltzone I am 29. 11. 55 ursächlich war. Mark III scheint ein stabiles Arbeiten des Reaktors zu gewährleisten, weil der positive Anteil des Temperaturkoeffizienten eliminiert werden konnte. [7]

Lit.: Nucleonics 15, Nr. 1, S. 84; Nr. 4, S. 62 (1957); 16, Nr. 2, S. 122; Nr. 9, S. 97 (1958).

Mark A, B, Spaltzonen des mittelschnellen Reaktors SIR, *Sodium-Intermediate-Reactor*, der für Schiffsantrieb vorgesehen war, sich aber dort nicht bewährte. Heutige Bezeichnung S1G und S2G. Daten s. Reaktortabelle. [7]

Massenspektrometer (vom Dempster), ein Gerät zur Aufspaltung von Ionenstrahlen nach den Massen der Ionen. Der M. benützt ein 180°-iges magnetisches *Sektorfeld, in dem die Ionen Halbkreisbögen beschreiben (s. Abb.). Durch Änderung der Beschleu-



nigungsspannung der Ionen oder der Stärke des Magnetfeldes können die Fokussierungspunkte der einzelnen Massen der Reihe nach über den Auffängerspalt geführt werden.

In einer verbesserten Anordnung wird der Ionenstrahl vor dem Eintritt in das Magnetfeld durch einen elektrostatischen Zylinderkondensator geführt, der ein 90°-Ablenkfeld erzeugt. Diese Kombination von elektrischem und magnetischem Ablenkfeld ergibt nicht nur in erster Ordnung Richtungsfokussierung, sondern auch Geschwindigkeitsfokussierung, d. h., Teilchen gleicher Masse, deren Geschwindigkei-

ten etwas voneinander abweichen, werden annähernd in einem Punkt vereinigt. [13]
engl.: mass spectrometer
franz.: spectromètre de masse

Massensynchrometer, ein Gerät zur Massenanalyse von Ionenstrahlen, das von L. G. Smith entwickelt wurde. Der Ionenstrahl läuft längs eines Kreises in einer flachen Vakuumkammer, die sich in einem homogenen Magnetfeld befindet, und durchsetzt eine Hochfrequenz-Beschleunigungsstrecke. Die Anordnung gleicht also der eines Elektronen-Synchrotrons. Ein Teilchen, das beschleunigt wurde, beschreibt einen kleineren Kreis als vor der Beschleunigung. Findet es bei seinem zweiten Durchtritt durch die Beschleunigungsstrecke ein um 180° verschobenes Feld vor, so wird es wieder auf die frühere Energie abgebremst, beschreibt einen Halbkreis mit größerem Radius und wird von einem Auffänger erfaßt. Teilchen mit abweichender Masse werden weiter beschleunigt, beschreiben kleinere Kreise und gehen am Auffänger vorbei. [13]
engl.: mass synchrometer
franz.: synchromètre de masse

Massentrennung, 1. Trennung der Nuklide verschiedener Masse oder verschiedenen Ionisierungsgrades, s. Massenspektrometer, Massenspektroskop.
2. Räumliche Abtrennung von Teilen der Spaltzone eines (schnellen) Reaktors oder einer Bombe zwecks Steuerung oder Unterbrechung der Kettenreaktion. Gegebenenfalls kann durch den Grad der Annäherung entsprechender unterkritischer Teile die Höhe der Reaktionsrate und der Neutronenfluß geregelt werden. [7]
engl.: mass separation
franz.: separation des masses

Matrizenmechanik ist diejenige mathematische Gestalt der *Quantenmechanik, in der physikalische Observable als Matrizen dargestellt sind. Den Gegensatz bildet die Wellenmechanik Schrödingers, die wenige Monate später als die M. und unabhängig von ihr entstand. Die Wellenmechanik stellt die Observablen durch Differentialoperatoren dar. Wellenmechanik und M.

sind mathematisch gleichwertig. Die M. ist 1925 von Heisenberg entwickelt worden. [7]
engl.: matrix mechanics

Moderatorwärme. Die bei der Atomspaltung freiwerdende Energie von ca. 195 MeV erscheint größtenteils als kinetische Energie der Spaltprodukte (162 MeV), Neutronen (6 MeV) und der Gammastrahlung (11 MeV). Ein Hauptteil der Neutronenenergie und ein Teil der Gammastrahlung wird im Moderator in Wärme verwandelt. Die M. beträgt etwa 5 % der im Brennstoff entstehenden Wärme. [8]
engl.: moderator heat
franz.: chaleur dissipée dans le modérateur

Monochromator, mechanischer, mechanische Monochromatoren werden zum Herausfiltern einzelner Geschwindigkeitsbereiche aus dem thermischen Neutronenspektrum eines Reaktors verwendet. Sie enthalten gewöhnlich zwei oder mehr auf gleicher Achse rotierende Scheiben aus absorbierendem Material (z. B. Cadmium), in die, gegeneinander um den Winkel φ versetzt, Schlitze eingeschnitten sind. Ist d der Abstand zwischen den Scheiben und ω ihre Winkelgeschwindigkeit, so können Neutronen mit der Geschwindigkeit $v = d\,\omega/\varphi$ die Schlitze nacheinander passieren, werden also durchgelassen. Durch Änderung von ω und φ kann der durchgelassene Geschwindigkeitsbereich verändert werden. M. eignen sich vor allem für das Gebiet der „kalten" Neutronen, d. h. für das untere Ende des Maxwellspektrums. [11]
engl.: mechanical monochromator
franz.: sélecteur stroboscopique périodique, sélecteur stroboscopique rotatoire

N

Natururan-Graphit-Reaktor, der älteste und einfachste Reaktor-Typus, gegenwärtig – mit Gaskühlung – Grundlage des englischen Atomenergieprogrammes. Dieser Reaktor ist als thermischer, graphit-

moderierter, heterogener Konverter mit Natururan und mit Gaskühlung zu klassifizieren. Ein N.-G.-R. hat den in der Abb. bei Calder-Hall-Reaktoren dargestellten prinzipiellen Aufbau. In einem großen Druckgefäß befindet sich ein aus zahlreichen Blöcken aufgeschichteter Graphitzylinder mit einigen tausend Längsbohrungen. In den Bohrungen stecken zylindrische Stäbe aus Natururan, die sich in dünnen, gerippten Schutzhülsen (Leichtmetall, Zirkon) befinden. Die Stäbe werden vom Kühlgas umspült, das seine Wärme im Wärmeaustauscher an Wasser als sekundäres Kühlmittel abgibt. Zur Regelung des Reaktors dienen Stäbe aus absorbierenden Stoffen (Cadmium, Borstahl), die von oben her in die Graphitmatrix eingeschoben werden können.

Als erstes Großkraftwerk ist *Calder-Hall bekannt geworden. Dieser Typ ist zu den fortgeschrittenen *Calder-Hall-Reaktoren (s. Nachtrag) in Berkeley, Bradwell, Hinkley Point und Hunterston weiter entwickelt worden.

Der N.-G.-R. arbeitet mit leicht erhältlichen, relativ billigen Stoffen und zeichnet sich durch hohe Betriebssicherheit aus. Gegenwärtig ist er einer der wirtschaftlichsten Reaktoren für Großkraftwerke. Seine Hauptnachteile liegen in der geringen Leistungsdichte und großen kritischen Masse. Aus diesem Grunde sind riesige Druckgefäße erforderlich. Die Gaskühlung erfordert große Wärmeaustauscher und hohe Pumpenleistungen. Die Entwicklungstendenzen sind auf höhere Temperaturen (keramische Brennstoffelemente) und höhere Drücke (doppelwandige Kessel) gerichtet. [13]
engl.: natural uranium graphite reactor
franz: réacteur à uranium naturel modéré au graphite

Neutronenstrahler. Es gibt einige wenige Kerne, welche unter Abgabe eines Neutrons radioaktiv zerfallen. Diese nennt man N. Ihre Halbwertszeit ist meist sehr kurz. Ein Beispiel ist der durch β-Zerfall aus dem instabilen Stickstoffkern ${}^{17}_{7}N$ entstehende angeregte Sauerstoffkern ${}^{17}_{8}O^*$.

$$ {}^{17}_{7}N \xrightarrow{\beta} {}^{17}_{8}O \xrightarrow{n} {}^{16}_{8}O \, . $$

Weitere N. sind die Mutterkerne der verzögerten Neutronen, s. Neutronen, verzögerte. [1]
engl.: neutron emitter
franz.: émetteur de neutrons

Neutronentemperatur. Neutronen werden im thermischen Reaktor so weit abgebremst, daß sie an der Wärmebewegung der Moderatorkerne teilnehmen. Näherungsweise ist die N. gleich der Moderatortemperatur. Die exakte Gleichheit wird durch zwei Effekte gestört. Das $1/v$-*Gesetz im Verlauf des Absorptionsquerschnittes bewirkt, daß die energieärmeren Neutronen stärker absorbiert werden als die schnelleren. Daher sollte die N. über der Moderatortemperatur liegen. Der zweite Effekt geht in entgegengesetzter Richtung: Die Diffusionslänge schneller Neutronen ist größer als die langsamer Neutronen. Daher laufen die schnellen Neutronen entsprechend den Gesetzen der Diffusionstheorie bevorzugt aus der Spaltzone heraus, verarmen also dort (s. Diffusionskühlung). Der zweite Effekt überwiegt meist den ersten.

Die Kenntnis der N. ist für die Reaktorberechnung wichtig, weil der Spaltquerschnitt des Urans und Plutoniums und damit die Energieerzeugung stark von der Energie (= Temperatur) der Neutronen abhängt. Die Messung der Temperatur erfolgt durch Ausmessung des Geschwindigkeitsspektrums in hoch auflösenden Spektrometern (Kristallmonochromator). Die Temperatur hängt mit der häufigsten Geschwindigkeit v_0 in der Maxwellverteilung zusammen gemäß

$$k\,T = \frac{1}{2}\,N\,v_o^2,$$

mit der mittleren Geschwindigkeit v_m dagegen gemäß

$$k\,T = \frac{1}{3}\,N\,v_m^2.$$

[6, 7]
engl.: neutron temperature
franz.: température des neutrons

Nordrhein-Westfalen, Gemeinsame Atomforschungsanlagen des Landes. Das Land NRW errichtet im Stetternicher Forst bei Jülich ein gemeinsames Atomfor-

schungszentrum für die Universität Bonn, Köln, Münster, die TH Aachen und die Medizinische Akademie Düsseldorf, das auch der Industrie für Forschungs-, Prüfungs- und Entwicklungsarbeiten zur Verfügung stehen soll. Planung und späterer Betrieb unter maßgeblicher Mitwirkung der *Gesellschaft zur Förderung der kernphysikalischen Forschung e. V., Düsseldorf, (GFKF).

Von den vorerst auf 102,5 Mill. DM veranschlagten Gesamtkosten werden der Bund 40 Mill. DM und das Land 62,5 Mill. DM übernehmen.

Vorgesehen sind 2 Reaktoren und 12 Forschungsinstitute. Bei den Reaktoren handelt es sich

1. um einen Wasserbecken-Forschungsreaktor vom Typ *MERLIN mit 5 MWth Leistung, geliefert von der englischen Firma A. E. I.-Jon Thompson Nuclear Energy Company Ltd., Knutsford, wobei die Arbeitsgemeinschaft AEG/Rheinstahl als deutsche Hauptkontraktfirma auftritt. Der Reaktor ist im Bau, die Inbetriebnahme soll voraussichtlich Ende 1959 erfolgen.

2. um einen Material-Prüfreaktor vom Typ *DIDO mit 10 MWth Leistung der englischen Firma Head Wrightson Processes Ltd., London, für den ebenfalls die Arbeitsgemeinschaft AEG/Rheinstahl als Gesamtunternehmer auftreten soll. [10]

Lit.: Atomwirtschaft 2 (1957), Heft 7/8, S. 247. – Atombrief, Heft Nordrhein-Westfalen, S. 148, Regensburg, 1958.

Nullreaktoren, Reaktoren mit verschwindend kleiner Leistung, Neutronenfluß unter 10^7 cm^{-2} s^{-1}. Sie bedürfen in der Regel nur einer leichten Abschirmung und stellen ein Forschungsinstrument für die Reaktorentwicklung dar. Man findet sie daher in den großen Forschungszentren und bei Industriefirmen, die sich mit der Reaktorentwicklung befassen. Aufgaben und Ziele können aus der nachstehenden (unvollständigen) Zusammenfassung amerikanischer N. (Stichtag 15. 4. 1957) abgelesen werden. Jeder größere Reaktor hat einen oder mehrere Vorgänger in der Form der N. [7]

engl.: zero energy reactors

franz.: réacteurs à puissance zéro

Nullreaktoren in USA

Bezeichnung		Standort	Baujahr
Army Package Power Reactor-Critical	APPR-OR	Oak Ridge	1955
X-10 Critical	X-10–200	Oak Ridge	1946
Zero Power Reactor No. 3	ZPR-3	NRTS, Idaho	1955
ORNL Critical Experiment Facility No. 1	ORNL-1	Oak Ridge	1950
ORNL Critical Experiment Facility No. 2	ORNL-2	Oak Ridge	1950
Fast Exponential Experiment	FEE	Argonne	1954
Physical Constants Test Reactor	PCTR	Hanford, Wash.	1955
PWR Flexible Critical Assembly	PWR-FA	Pittsburgh	1954
PWR Mockup	PWR Mockup	Pittsburgh	1954
Two Region Critical Experiment	TRX	Pittsburgh	1953
Preliminary Pile Assembly	PPA	Schenectady	1948
Spare Plate Critical Assembly	SPCA	Pittsburgh	
Danger Coefficient Test Facility	DCTF	Pittsburgh	
Flexible Plastic Reactor	FPR	Schenectady	
Flexible Critical Experiment	SIC-FC	Windsor, Conn.	
APPR Criticality Assembly	APPR-s	Schenectady	1956
Reacticity Measurement Facility	RMF	NRTS, Idaho	1954
Zero Power Reactor No. 5	ZPR-5	Argonne, Lab.	1956
Evendale Critical Experiment Facility No. 2 (Air Force)	GEANP-2	Evendale, Ohio	
CANAL Nuclear Physics Laboratory (Air Force)	CANEL-1	Middletown, Conn.	
Low Power Test Facility	LPTF	NRTS, Idaho	
Zero Power Reactor No. 6	ZPR-6	Argonne	1957

O

OGRA. In Rußland ist eine dem DCX ähnliche Anlage zum Studium von Fusionsprozessen in Betrieb. Diese Maschine ist beträchtlich größer als DCX; die Entfernung zwischen den Mitten der magnetischen Spiegel beträgt 12 m und der Durchmesser der Vakuumkammer 1,4 m. In der Mitte der Vakuumkammer kann die Feldstärke auf 5000 Gauß gebracht werden, in den Spiegeln beträgt sie 8000 Gauß. Die Dissoziation des Strahles wird nicht durch den Lichtbogen bewirkt und der Nutzeffekt der Dissoziation wird als gering vermutet. Man erwartet jedoch, daß die Stromstärke des Deuterium-Ionenstrahls bald auf einige hundert mA erhöht wird. S. a. Astron, Equator, Fusion, Ixion, Magnetohydrodynamik, PAM, Perhapsotron, Pinch-Effekt, Plasma, Scylla, Stellerator, Table-Top, Triax. [27]

Lit.: L. A. Artsimovich, Investigations on Controlled Thermonuclear Reactions in the USSR, Proc. 2nd UN Conf. on the Peaceful Uses of Atomic Energy, P 2298, Genf, 1958.

Ohmsche Heizung eines Plasmas, die infolge eines elektrischen Stroms im *Plasma in Joulesche Wärme L umgesetzte elektrische Energie pro Zeit und Volumeneinheit.

$$L = \mathfrak{j} \cdot \mathfrak{E} = \sigma\, \mathfrak{E}^2 = \frac{\mathfrak{j}^2}{\sigma}\,;$$

$\mathfrak{E}$ elektr. Feldstärke, $\mathfrak{j}$ Stromdichte, σ elektr. Leitfähigkeit.

Durch Stöße zwischen Elektronen und Ionen wird die im elektrischen Feld aufgenommene, gerichtete, kinetische Energie in thermische umgewandelt. Wegen der sehr viel kleineren Elektronenmasse geht nahezu die gesamte Feldenergie in thermische Elektronenenergie über; die Aufheizung der Ionen erfolgt indirekt erst über den Temperaturaustausch zwischen Elektronen- und Ionengas, bei welchem die elektrische *Leitfähigkeit eine Rolle spielt. Die elektrische Leitfähigkeit im Plasma ist proportional zu $T^{3/2}$. Senkrecht zu einem starken Magnetfeld ändert sich die elektrische Leitfähigkeit um den Faktor $3\,\pi/32$. Nach Dreicer

gilt dieses $T^{3/2}$-Gesetz unter der Voraussetzung, daß die „run-away"-Elektronen (schnelle Elektronen im Schwanz der Maxwellverteilung) die meßbare Leitfähigkeit nicht verfälschen. Infolge dieses starken Anwachsens der Leitfähigkeit mit der Temperatur eignet sich die Ohmsche Heizung nur für Temperaturbereiche bis zu einigen 10^6 °K.

Man unterscheidet je nach der experimentellen Anordnung die elektrodenlose Aufheizung und diejenige mit Elektroden. Erstere erfolgt nach dem Prinzip des Transformators, wobei das stromführende Plasma die kurzgeschlossene Sekundärschleife darstellt. Im zweiten Fall befindet sich das leitende Plasma zwischen zwei Elektroden. Als Stromquelle für Kurzzeitentladungen dienen Kondensatorbänke. Alle bisher verwendeten Apparate dieser Art zur Erreichung hoher Plasmatemperaturen arbeiten kurzzeitig mit Maximalstromstärken bis nahezu 10^6 Ampère und Stromanstiegszeiten von 10^{12} A/s. [27]

engl.: ohmic heating of a plasma

Lit.: S. Chapman u. T. G. Cowling, Mathematical Theory of Nonuniform Gases, Cambridge University Press, 1952. – L. Spitzer Jr. u. R. Härm, Physic. Rev. 89, 977 (1953). – L. Spitzer Jr., Physics of Fully Ionized Gases, Interscience Publ., New York, 1956. – H. Dreicer, On the Theory of Run-away Electrons, Proc. of the 2nd UN Conf. on the Peaceful Uses of Atomic Energy, P 2292, Genf, 1958.

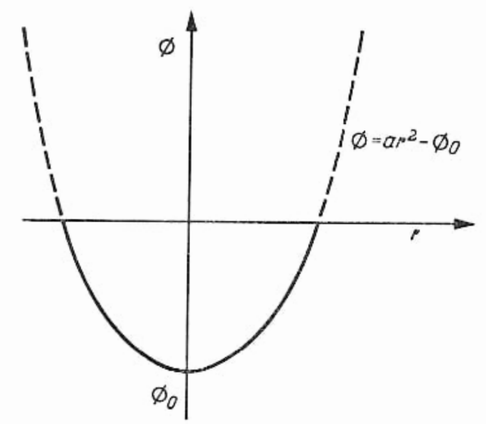
P

PAM ist eine in Los Alamos erstellte Vorrichtung zur Erforschung eines Plasmas mit extrem hohen Temperaturen für Fusionsprozesse. Ein mechanisches, schnell arbeitendes Ventil leitet pulsierend Deuterium durch ein Rohr in ein Feld einer Stoßspule, die von einem 0,8 µF Kondensator, der mit 60 kV geladen ist, gespeist wird. Durch eine Reihe weiterer Spulen wird das Plasma linear beschleunigt. Ein axiales Magnetfeld wird um das Rohr gelegt. Die Impulsübertragung des Plasmas wird von einem ballistischen Pendel gemessen. Es wurden Plasmageschwindigkeiten von 6 cm/µs gemessen. S. a. Astron, DCX, Equator, Ixion, Magneto-

hydrodynamik, Ogra, Perhapsotron, Pinch-Effekt, Scylla, Stellarator, Table-Top, Triax. [27]

Lit.: J. L. Tuck et al., Review of Controlled Thermonuclear Research at Los Alamos, Proc. 2nd Un Conf. on the Peaceful Uses of Atomic Energy, P 1860, Genf, 1958.

Parabelpotential, Approximation des wirklichen radialen Verlaufs des *Kernpotentials durch eine Parabel. Es wird in der Kernphysik in erster Linie für leichte Kerne im Rahmen des *Schalenmodells ver-



wandt. Charakteristisch ist die Tiefe Φ_0 sowie die Parabelöffnung. S. a. Potentialberg, Potentialtopf, Yukawa-Potential. [7]

engl.: parabolic potential

franz.: potentiel de la parabole

Photosynthese, ein Vorgang, durch den in grünen Pflanzen mit Hilfe des Chlorophylls und der Sonnenlichtenergie aus anorganischen Stoffen organische Verbindungen gebildet werden. Diese Einlagerung kosmischer Energie in organische Substanz ist eine Grundlage des Lebensgeschehens. Die P. verläuft nach der Summenformel: $6\,CO_2 + 6\,H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2$. Die im Wege dieser CO_2-Assimilation gebildeten Assimilate dienen dem Organismus als Bau- und energielieferndes Brennmaterial. [28]

engl.: photosynthesis

franz.: photosynthèse

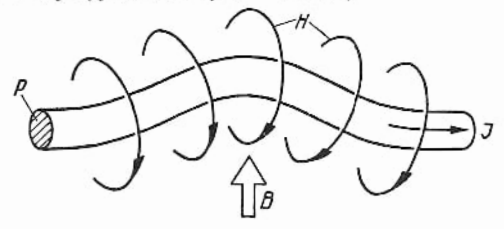
Photozelle dient zum Nachweis elektromagnetischer Strahlung im Wellenlängenbereich von einigen μ abwärts bis zu kürzesten Gammastrahlen. Die Wirkungsweise beruht darauf, daß einfallende Strahlung Elektronen in einem Molekül- oder Atomverband Energie zuführt und damit ihre Bindung an ein bestimmtes Atom oder einen Kristallplatz aufhebt. Tritt das befreite Elektron aus der bestrahlten Oberfläche in einen evakuierten oder gaserfüllten Raum aus (äußerer Photoeffekt), so kann es durch elektrische Felder beschleunigt und zu einer Anode geführt werden. Es fließt ein dem Strahlungsfluß in weiten Grenzen proportionaler Elektronenstrom von der Photokathode zur Anode. Energiereiche Photonen können aus allen Metalloberflächen Elektronen auslösen. Langwellige Strahlung ist hierzu nur imstande, wenn die Austrittsarbeit an der Oberfläche klein ist. Man stellt hierzu Schichten aus K, Cs, Rb oder komplexe Schichten aus Ag, Cs, CsO, AgO und Sb her, die bis ins infrarote Gebiet hinein brauchbar sind. Der primäre Elektronenstrom kann durch Stoßionisation in verdünnten Gasen verstärkt werden (Gas-Photozelle). Modernere Verfahren benutzen die Auslösung von Sekundär-Elektronen aus besonderen Prallelektroden zur Verstärkung (s. Photovervielfacher).
Neben dem in den eigentlichen Ph.n benutzten äußeren Photoeffekt wird der innere Photoeffekt in den Sperrschicht(photo)zellen benutzt. Bei ihnen werden die Elektronen oder Ionen in halbleitenden oder Isolator-Materialien durch Strahlungsquanten von ihren Plätzen gelöst, so daß ein entsprechender Strom durch das Material bzw. durch die Grenzschichten zwischen einer metallischen Unterlage und dem Material fließen kann. Photozellen und Sperrschichtzellen werden in vielen technischen Ausführungsformen zum Nachweis und Messen von Strahlung, in der Tonfilmtechnik, der Lichttelefonie u. a. m. benutzt. [6]
engl.: photo cell *franz.: tube photo-électrique*

Plasmastabilisierung, Verfahren, um den einem *Plasma innewohnenden Instabilitäten (s. insbes. Pinch-Effekt) entgegenzuwirken und es fern von materiellen Wänden (die bei den Temperaturen des Plas-

mas zerstört würden) zu haltern. Dazu werden magnetische Felder angewandt.

Für eine theoretische Analyse geht man entweder von dem System der Differentialgleichungen der *Magnetohydrodynamik aus oder man stellt mit Hilfe von Integralgleichungen ein Energieprinzip auf. In einer Gleichgewichtskonfiguration muß die Variation der Energie, die im Ruhezustand der Variation der potentiellen Energie gleichkommt, verschwinden: $\delta U = 0$. Dies führt zu einer Möglichkeit, Gleichgewichtskonfigurationen zu finden. Für Systeme von unendlich vielen Freiheitsgraden wird diese Bedingung zwar auch verwendet, ihre Gültigkeit ist aber noch nicht nachgewiesen worden. Die Ergebnisse der Rechnungen der verschiedenen Autoren werden von Experiment bestätigt und lauten qualitativ:

a) Zylindersymmetrische Konfigurationen des Pinches mit stetiger Oberfläche sind instabil gegen Knickung *(kink-instability $m = 1$ mode)* und Einschnürung *(sausage type instability $m = 0$ mode)*.



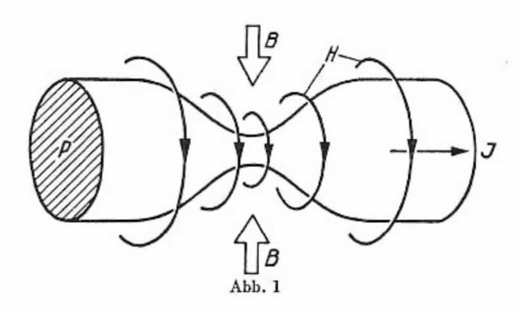


Abb. 1

Plasmastabilisierung

b) Axiale Magnetfelder, welche im Plasma eingeschlossen sind, liefern Stabilität gegen Einschnürung jeder Art und gegen Knickung kurzer und mittlerer Wellenlängen.

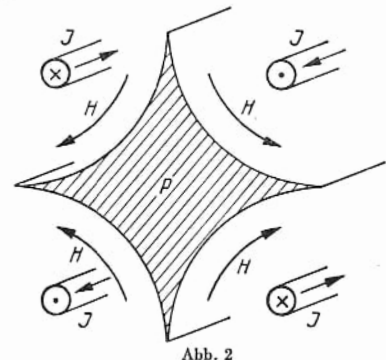


Abb. 2

c) Stabilisierende Wirkung auf langwellige Knickinstabilitäten haben leitende Wände in der Nähe des Plasmas. Als eine Folge der Überlagerung des axialen Magnetfeldes mit dem azimutalen Eigenmagnetfeld des axialen Stromes im Plasmazylinder treten schraubenförmige Magnetfeldkonfigurationen und entsprechende Plasmainstabilitäten auf. Dieser Art der Instabilitäten begegnen entgegengesetzt schraubenförmige stromdurchflossene Drahtwindungen um den Plasmakanal.

d) Eine Möglichkeit zur stabilen Halterung von Plasmen sind Konfigurationen mit unstetigen Oberflächen *(cusped geometries)*. Der Nachteil solcher Konfigurationen ist der relativ hohe Teilchenverlust an den Spitzen. Durch axiale Magnetfelder kann teilweise Abhilfe geschaffen werden (B e r k o w i t z et al.). – Wenig erforscht ist die stabile Halterung von Plasmen durch Wechselfelder. [27]

engl.: plasma stabilization

franz.: stabilisation du plasma

Lit.: M. D. Kruskal and C. R. Obermann, On the Stability of Plasma in Static Equilibrium, P 365, Genf, 1958. – M. D. Kruskal and J. L. Tuck, Proc. Roy. Soc. (London) A 244 (1958), LA 1716 (1953). – I. B. Bernstein et al., Proc. Roy. Soc. (London) A 244, 17 (1958). – I. A. Tserkovnikov, J. Exp. Teoret. Fisiki (Moskau) 5, 58 (1957). – I. Berkowitz et al., Cusped Geometries, P 1538, Genf, 1958.

Pumpen, magnetisches, Vorgang, bei welchem durch ein äußeres elektromagnetisches Feld einem *Plasma Energie zugeführt wird. Der Vektor des schwingenden elektrischen Feldes im Plasma steht senkrecht auf den Kraftlinien des magnetischen Feldes, durch welches das Plasma gehaltert wird (s. Plasmastabilisierung). Da dieses oszillierende elektrische Feld durch zeitliche Änderung des stabilisierenden magnetischen Hauptfeldes erzeugt wird, nennt man diesen Aufheizungsvorgang m. P. Durch m. P. können die Ionen des Plasmas, unter anders gewählten Bedingungen auch die Elektronen, aufgeheizt werden.

Beim m. P. unterscheidet man vier Phasen, die durch vier charakteristische Zeiten unterschieden werden. Diese Zeiten sind: a) $\tau_{st} = 1/\nu$ die Zeit, die benötigt wird um ein Ion durch eine große Zahl schwacher Coulomb-Wechselwirkungen mit Elektronen und Ionen um 90° abzulenken, b) $\tau_F = 2\pi/\omega$ die Periode des angelegten oszillierenden Feldes, c) τ_L die Zeit, die ein typisches Ion des Plasmas im Mittel benötigt, um die Pumpstrecke L zu durchqueren und d) $\tau_{ci} = 2\pi/\omega_{ci}$ die Zyklotronperiode (s. Zyklotronfrequenz) eines Ions. Damit ergeben sich die vier charakteristischen Phasen für den Heizvorgang:

1. Stoßaufheizung, $\tau_{ci} \ll \tau_{st} \approx \tau_F \ll \tau_L$,
2. Durchlaufheizung, $\tau_{ci} \ll \tau_L \approx \tau_F \ll \tau_{st}$,
3. *Magnetoakustische Heizung, $\tau_{ci} \ll \tau_{st} \ll \tau_F \approx \tau_L$,
4. *Zyklotronresonanz-Heizung, $\tau_{ci} \approx \tau_F \ll \tau_L \ll \tau_{st}$.

Die magnetoakustische Heizung und die Zyklotronresonanz-Heizung werden als Spezialfälle des m. P. betrachtet.

Die Stoßaufheizung ist besonders wirksam bei relativ niedrigen Temperaturen, wo die Stoßzahlen noch hoch genug sind. Bei höheren Temperaturen fällt die Leistungsaufnahme proportional $T^{-1/2}$ ab. Im Falle der Durchlaufheizung, bei welcher die mittlere freie Weglänge (für Ablenkung um 90°) groß gegen die Pumpenstrecke L ist, wird die Energie zunächst in gerichtete Bewegung der Ionen zugeführt. Es ist erforderlich, anschließend die gerichtete Bewegung in thermische Bewegung ohne wesentliche Verluste zu überführen.

Dabei stellt man sich vor, daß dies ähnlich der Dämpfung für elektrostatische Plasmaschwingungen vor sich gehen kann. Die Leistungsaufnahme bei der Durchlaufheizung, wie auch bei der magnetoakustischen Heizung, ist bei höheren Temperaturen proportional $T^{3/2}$, wenn die Pumpfrequenz mit der Temperatur optimalisiert wird. S. a. Wellen, magnetohydrodynamische, elektrostatische und elektromagnetische, Stellerator, Ohmsche Heizung. [27]

engl.: magnetic pumping

Lit.: J. M. Berger et al., Heating of a Confined Plasma by Oscillating Electromagnetic Fields, Proc. 2nd UN Conf. on the Peaceful Uses of Atomic Energy, P 357, Genf, 1958. – T. H. Stix, Generation and Thermalization of Plasma Waves, P 361, Genf, 1958. – L. Spitzer Jr. u. L. Witten, On the Ionization and Heating of a Plasma, NYO-999 (PM-S-6). – J. M. Berger u. W. A. Newcomb, Heating of a Plasma by Magnetic Pumping, NYO-6046 (PM-S-13), 1954. – A. Schlüter, Z. Naturforschung 12 a, 822 (1957).

Q

Quantelung, s. Quantenmechanik.
engl.: quantization
franz.: quantification

Quantenmechanik. Die Qu. ist jener Formalismus, der gestattet, das Geschehen des Mikrokosmos zu beherrschen. Das grundlegend Neue, das es erforderlich macht, die Bewegungsgleichungen der klassischen Mechanik abzuändern, ist der *Dualismus von Welle und Teilchen. Dieser zeigt sich nur für elementare Gebilde. Man betrachte z. B. ein Atom, dessen Lage im Kristallgitter durch Bewegungsexperimente mit Röntgen-Strahlen oder Elektronenwellen festgelegt ist. Dieses Atom als Ganzes hat mit der Festlegung auf einen bestimmten Ort ausgesprochen Teilcheneigenschaften. Nach dem Grundgesetz des Dualismus kommt ihm jedoch auch eine Welle zu, deren Länge

$$\lambda = h/m\,v$$

wäre. Nimmt man für m nur die Masse eines Wasserstoff-Atoms und für v nur die Geschwindigkeit, die letz-

teres auf Grund der Wärmebewegung haben würde, so kommt man auf ein λ von 10^{-8} cm. Es ist also $\lambda \lesssim$ Atomdurchmesser. Um ein solches Wellenphänomen nachzuweisen, müßte man feste Abstände unterhalb 10^{-8} cm haben, die aber unter dem Durchmesser des schwingenden Gebildes liegen. Damit ist das ganze Vorhaben als sinnlos gekennzeichnet. Es ist also ein Atom als Ganzes – aber auch nur als Ganzes – nach den Gesetzen der klassischen Mechanik wie ein Teilchen zu behandeln. Man wird ihm nirgends als Welle begegnen. Stellt man dieselbe Überlegung aber für ein Elektron an, so stellt sich heraus, daß das Elektron sowohl als Welle wie als Teilchen in Erscheinung treten kann. Das Elektron und ebenso die übrigen Elementarteilchen müssen daher im allgemeinen, d. h. wenn man nicht auf bestimmte Aussagen von vornherein verzichten will, nach einem gegenüber der klassischen Physik erweiterten Formalismus behandelt werden.

Quantenmechanik

Diesen erweiterten Formalismus gewinnt man durch den Prozeß der Quantelung, d. h. man ersetzt die Funktionen, die die klassischen Größen Ort, Impuls, Energie usw. bezeichnen, durch Operatoren. Heisenberg wählte dafür Matrizen, Schrödinger Differentialausdrücke. Die Matrizen Heisenbergs und die Differentialoperatoren Schrödingers müssen den Vertauschungsrelationen genügen. Dadurch ist die Mannigfaltigkeit der zu verwendenden Matrizen bzw. Differentialausdrücke beträchtlich eingeschränkt. Außerdem erfand Schrödinger Vorschriften, die die klassischen Größen quantenmechanisch umdeuten. Nach Schrödinger wird für die Impulskoordinate p_x der Operator $\hbar/i \cdot \partial/\partial x$ und für die Gesamtenergie E der Operator $-\hbar/i \cdot \partial/\partial t$ gesetzt. Diese sollen dann auf eine von Ort und Zeit abhängige Funktion ψ wirken. Aus dem Energiesatz der Mechanik

$$E_{\text{kin}} + E_{\text{pot}} = E$$

wird dann bei

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2\,m}\,(p_x^2 + p_y^2 + p_z^2)$$

und

$$E_{\text{pot}} = E_{\text{pot}}(x, y, z)$$

die folgende Gleichung

$$-\frac{\hbar^2}{2\,m}\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}+\frac{\partial^2}{\partial z^2}\right)\psi+E_{\text{pot}}\cdot\psi = -\frac{\hbar}{i}\frac{\partial\psi}{\partial t}\,.$$

Dies ist die *Schrödinger-Gleichung für ein einzelnes Teilchen, das sich in dem durch E_{pot} ausgedrückten Potential bewegt. – Die Arbeiten von Heisenberg bzw. Schrödinger erfolgten unabhängig voneinander und wurden im Jahre 1925/26 veröffentlicht. Sie sind in mathematischer Hinsicht gleichwertig.

Die Größe $\psi(x, y, z, t)$ hat keine anschauliche Bedeutung; sie ist nicht beobachtbar. Das geht schon daraus hervor, daß sie im allgemeinen komplex ist und bei einem Mehrteilchensystem eine Funktion in einem abstrakten, hochdimensionalen Raum darstellt. ψ wird als Wahrscheinlichkeitswelle bezeichnet, denn $\psi^*\,\psi$ ist gleichbedeutend mit der Wahrscheinlichkeit, daß ein Teilchen am Ort r angetroffen wird. Das Produkt $\psi^*\,\psi$, in diesem Sinne genommen, ist daher beobachtbar. Auf dieser Basis lassen sich noch weitere beobachtbare physikalische Größen aus der Größe ψ herleiten. So ist

$$\varrho\,\mathrm{d}\tau = e\,\psi^*\,\psi\,\mathrm{d}\tau$$

die Ladungsdichte im Raumelement $\mathrm{d}\tau$ und

$$j = \frac{\hbar\,e}{2\,i\,m}\,(\psi^*\,\mathrm{grad}\,\psi - \psi\,\mathrm{grad}\,\psi^*)$$

die Stromdichte. In all diesen Ausdrücken kommen Produkte der Form $\psi^*\,\psi$ bzw. von Ableitungen der ψ's vor. Die statistische Deutung der quantentheoretischen ψ-Funktion in der oben angedeuteten Form geht auf Born zurück. [7]

engl.: quantum mechanics

franz.: mécanique quantique

Lit.: Heisenberg, Die physikalischen Prinzipien der Quantentheorie, Hirzel, Stuttgart, 1949. – A. Sommerfeld, Atombau und Spektrallinien, Bd. II, Vieweg, Braunschweig, 1951. – J. Schiff, Quantum Mechanics, McGraw Hill, New York, 1949. – F. Hund, Materie als Feld, Springer, Berlin, 1954. – C. Schaefer, Einf. in die theor. Physik, Bd. III, 2, de Gruyter, Berlin, 1951. – E. Fues,

Einf. in die Quantenmechanik, in Hdb. d. Exp. Phys., hrsg. v. Wien und Harms, Ergänzungsbd. II, Ak. Verl. Ges., Leipzig, 1935. – H. A. Kramers, Die Grundlagen der Quantentheorie und Quantentheorie des Elektrons und der Strahlung, in Hand- und Jahrbuch der chemischen Physik, hrsg. von Eucken und Wolf, Bd. I, Teil 1 und 2, Ak. Verl. Ges., Leipzig, 1938. – Hdb. der Physik, hrsg. von Geiger und Scheel, Bd. 23/1, Springer, Berlin, 1933. – P. Jordan, Anschauliche Quantentheorie, Springer, Berlin, 1936. – J. v. Neumann, Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik, Springer, Berlin, 1932. – S. Ludwig, Die Grundlagen der Quantenmechanik, Springer, Berlin, 1954.

R

radiogen. Elemente, die durch den Zerfall eines radioaktiven Stoffes entstanden sind, nennt man r., z. B. r.s Blei in Uran- und Thoriummineralien. Je nach Ausgangsprodukt erhält man verschiedene Pb-Isotope, und zwar aus

U-238: Pb-206
U-235: Pb-207
Th-232: Pb-208.

Hierdurch wird die natürliche Häufigkeit der Bleiisotope gestört.

Das in uran- und thoriumfreien Mineralien vorkommende Blei hat folgende isotopische Zusammensetzung

Pb-204	1,48 %
Pb-206	23,6 %
Pb-207	22,6 %
Pb-208	52,3 %.

[1, 3]

engl.: radiogenic
franz.: radiogène

Radiothor ($^{229}_{90}$Th), α-aktives Zwischenglied in der Thorium-Zerfallsreihe. R. hat eine Halbwertszeit von 1,9 a und wird, auf $Fe(OH)_3$ niedergeschlagen, als Quelle zur Gewinnung des radioaktiven Gases Thoron verwendet (s. Thor-B-Kuh). [3]

Reaktorkampagne, die Zeitdauer (in d oder besser MWd), in der eine Reaktorbeschickung (charge) ohne Aufarbeitung im Reaktor verbleibt. [11]
engl.: reactor campaign

Reaktorvergiftung, Ansammlung von Neutronen absorbierenden Atomkernen im Reaktor, insbes. in der Spaltzone. Die R. wird ohne äußeren Eingriff durch längeren Reaktorbetrieb bewirkt, s. Reaktorgifte. [7]
engl.: reactor poisoning
franz.: empoisonnement du réacteur

Resonanzdetektor ist ein selektiv auf bestimmte Energien ansprechender *Neutronendetektor. Als R.n werden Stoffe benutzt, die durch Resonanzeinfang von Neutronen aktiviert werden. Man verwendet dünne Folien aus Stoffen mit einzelnen, stark ausgeprägten Resonanzen, z. B. Indium (1,44 eV, 28 000 barn) oder Gold (4,9 eV, 15 000 barn). [11]
engl.: resonance detector
franz.: détecteur par résonance

Resonanzniveau, höheres Energieniveau eines nuklearen oder atomaren Systems, das durch Stoß (z. B. Neutron gegen Kern) angeregt werden kann. Trägt man den Stoßquerschnitt in Abhängigkeit von der Energie auf, findet man Maxima für jedes R., S. Resonanzenergie. [7]
engl.: resonance level
franz.: niveau de résonance

Rückstellzeit, diejenige Zeit, die in einem elektronischen System zu Herstellung der Ausgangsstellung benötigt wird. [7]
engl.: reset time
franz.: durée de retour

Ruhenergie, die Energie eines Teilchens in einem Koordinatensystem, in dem das Teilchen ruht. Die R. ist gleich der Ruhmasse, multipliziert mit dem Quadrat der Lichtgeschwindigkeit, s. Masse-Energie-Beziehung. [7]
engl.: rest energy
franz.: énergie au repos

RWE-Versuchsatomkraftwerk Kahl. Das RWE-Versuchsatomkraftwerk Kahl wird im Bereich der Gemeinde Groß-Welzheim zwischen Hanau und Aschaffenburg unmittelbar am Main, angrenzend an das vorhandene RWE-Kohlenkraftwerk Dettingen, errichtet. Es wird von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft (AEG) in Frankfurt/Main unter maßgeblicher Betei-

ligung der Firma International General Electric Co. in USA, welche für die technische Auslegung des Reaktors zuständig sein wird, und der Hochtief AG. in Essen, die die Bauarbeiten durchführen wird, erstellt und soll 1960 in Betrieb genommen werden. Das Atomkraftwerk ist für eine relativ kleine elektrische Nettoleistung von 15 000 kW ausgelegt und dient vor allem dem Zweck, Erfahrungen in Bau und Betrieb von Atomkraftwerksanlagen zu sammeln. Es ist bei Vorliegen günstiger Betriebserfahrungen beabsichtigt, später die Leistung des Reaktors etwa zu verdoppeln. Der Reaktor beruht auf dem Siedewasserprinzip, d. h. in der Spaltzone wird unmittelbar Dampf erzeugt. Es wäre grundsätzlich möglich, den Dampf – wie es bei einer Anlage in Amerika tatsächlich geschieht – direkt in die Turbine zu leiten. Im vorliegenden Falle hat man bevorzugt, zwischen den Reaktor und die Turbine einen Wärmeaustauscher zu schalten, so daß die Turbine nicht mit Dampf aus dem Reaktor in Berührung kommt. Der Reaktorkern besteht aus leicht angereichertem Uran, die einzelnen Uranstäbe sind mit Zircaloy umhüllt.
Der Reaktor ist von einer $2^1/_2$ m starken Betonabschirmung umgeben und sitzt zusammen mit dem Wärmeaustauscher in einem etwa 42 m hohen Stahlgehäuse, das etwa zur Hälfte unter der Erdoberfläche liegt, so daß alle Teile des Kraftwerkes, die radioaktiv werden könnten, nach außen hin mit aller überhaupt möglichen Sicherheit abgeschirmt sind.
Um das Reaktorgebäude befinden sich die übrigen auch bei normalen Kraftwerken vorhandenen Anlagen, wie das Maschinenhaus mit dem Turbogenerator, das Verwaltungsgebäude, die Werkstatt, die Wasseraufbereitungsanlage usw. Das Atomkraftwerk hat ferner einen Abluftschlot; dieser dient zur Ventilation des Reaktorgebäudes. [12]

S

Sandwichmethode. Photographische Untersuchungsmethode für Kernreaktionen. Die zu untersuchende

Substanz wird dabei von zwei photographischen Emulsionsschichten eingeschlossen, so daß die Spuren der ionisierenden Strahlen in jeder beliebigen Raumrichtung verfolgbar sind. Das ganze hat die Form eines belegten Brötchens (= sandwich). [3]
engl.: sandwich method *franz. méthode sandwich*
Lit.: Hdb. der Mikrochem. Meth., Springer, Wien 1955.

Santowax-R, technisch anfallende Mischung aus Polyphenylen (1 % Diphenyl, 10 % o-Terphenyl, 53 % m-Terphenyl, 36 % p-Terphenyl und kleine Mengen von Stoffen von ähnlicher Flüchtigkeit). S. zeigt bei der Anwendung als Moderator und Kühlmittel in mancher Hinsicht bessere Eigenschaften als reine Polyphenyle. S. wird benutzt im OMRE und OMR. [18]

Schrödinger-Funktion, s. Schrödinger-Gleichung.
engl.: Schrödinger (wave) function
franz.: fonction de Schrödinger

Schrödinger-Gleichung. In seiner Veröffentlichung „Quantisierung als Eigenwertproblem" (Annalen der Phys. 79, 1926) stellte Schrödinger heraus, daß die Quantenbedingungen, die man bis dahin der klassischen Physik als zusätzliche Forderungen aufpfropfte, durch eine neue Theorie überflüssig würden, bei der man zunächst nicht explizite von ganzzahligen Größen spricht, diese aber automatisch in ähnlicher Weise auftreten, wie sich bei einer schwingenden Saite die möglichen Schwingungsformen als Oberschwingungen zu einer Grundschwingung ergeben. Die eigentliche Aufgabe ist, das richtige *Eigenwertproblem zu formulieren. Die Schrödingersche Form der Dynamik unterscheidet sich von der Newtons grundlegend. Schrödinger sucht nicht nach Gleichungen, die Ort und Impuls eines Teilchens in irgendeinem Bewegungszustand zu berechnen gestatten. Vielmehr führt er eine abstrakte Funktion $\psi = \psi(x, y, z, t)$ ein, mit deren Hilfe Wahrscheinlichkeitsaussagen über den Ort und andere Größen der Dynamik gemacht werden können. Diese Wahrscheinlichkeitsaussagen treten an die Stelle exakter Angaben. Sie tragen dem *Dualismus von Welle und Teilchen Rech-

nung. Die zeitabhängige Sch.-G. für ein einzelnes Teilchen heißt:

Schrödinger-Gleichung

$$\frac{\hbar^2}{2m} \Delta\psi(x, y, z, t) - V(x, y, z, t)\,\psi(x, y, z, t) - \frac{\hbar}{i} \frac{\partial\psi(x, y, z, t)}{\partial t} = 0 .$$

Die Funktion ψ heißt Schrödingersche Wellenfunktion. $\hbar$ ist das Plancksche Wirkungsquantum/2π; $i = \sqrt{-1}$; m ist die Masse des Teilchens.
Diese Gleichung hat gewisse Ähnlichkeit mit der klassischen *Wellengleichung. Sie kann aus Analogiebetrachtungen zwischen geometrischer und Wellenoptik einerseits und klassischer Mechanik und Wellenmechanik (de Broglie, 1924) andererseits gewonnen werden. Sie kann ebenso aus dem Energiesatz:

$$\frac{\mathfrak{p}^2}{2m} + V(x, y, z, t) = E$$

abgeleitet werden, wenn man dort den Impuls $\mathfrak{p}$ durch $(\hbar/i)\cdot$grad und die Gesamtenergie E durch $-\hbar/i\cdot\partial/\partial t$ ersetzt. Das Ganze wirkt dann als Operator auf die Funktion $\psi(x, y, z, t)$. Dabei wird

$$\mathfrak{p}^2 \rightarrow -\hbar^2 \operatorname{grad}^2 = -\hbar^2 \left\{\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}\right\} = -\hbar^2 \Delta .$$

Die zeitunabhängige Sch.-G. gewinnt man, wenn man E nicht durch einen Operator ersetzt:

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \Delta\psi(x, y, z) + \{V(x, y, z) - E\}\cdot\psi(x, y, z) = 0 .$$

Eine solche Gleichung stellt ein Eigenwertproblem dar. E spielt die Rolle eines Eigenwerts. Das bedeutet, daß die Gleichung nicht für jedes E lösbar sein muß, sondern nur für diejenigen Werte E_n, die man in der älteren Quantentheorie durch besondere Quantenbedingungen aus der kontinuierlichen Mannigfaltigkeit auswählte. Zu jedem Eigenwert E_n gehört eine bestimmte Eigenfunktion ψ_n. Die Eigenfunktionen haben keine physikalische Bedeutung, dagegen bedeutet $\psi_n^2(x,y,z)$

die Wahrscheinlichkeit, das Teilchen mit der Energie E_n ist an der Stelle mit den Koordinaten (x, y, z) anzutreffen.

Die bisherige Darstellung beschränkt sich auf das Einteilchensystem. Beim Mehrteilchensystem hängt ψ von den Koordinaten aller Teilchen ab:

$$\psi(x_i, y_i, z_i) \equiv \psi(x_1, y_1, z_1; x_2, y_2, z_2; \ldots x_n, y_n, z_n).$$

Die Sch.-G. lautet dann:

$$-\hbar^2 \sum \frac{\Delta_i \psi}{2 m_i} + \{V(x_i, y_i, z_i) - E\} \cdot \psi(x_i, y_i, z_i) = 0.$$

In diesem Fall liegt ihr ein hochdimensionaler Raum zugrunde.

Die Sch.-G. ist nicht tiefer begründbar. Alle sog. Herleitungen sind nichts weiter als Analogiebetrachtungen, die in logischer Hinsicht in keiner Weise zwingend sind. Die Sch.-G. ist lediglich durch die Erfahrung zu rechtfertigen. Hier hat sie sich allerdings vielfach bewährt.

Die obigen Gleichungen gelten nur in der unrelativistischen Mechanik, wie man an dem verschiedenen Grad von Ort- und Zeitdifferentiationen sieht. Die Gleichung Schrödingers relativistisch zu verallgemeinern ist ein ernstes Problem. Die sog. relativistische Sch.-G. oder Klein-Gordon-Gleichung vermag den Anforderungen nicht zu entsprechen. Für das Einteilchensystem ist Dirac die Lösung dieses Problems gelungen (s. Diracsche Theorie des Elektrons). [7]

engl.: Schrödinger equation

franz.: équation de Schrödinger

Lit.: A. Sommerfeld, Atombau und Spektrallinien, Bd. II, Vieweg, Braunschweig, 1951. – Cl. Schaefer, Einf. in die theor. Physik, Bd. III, de Gruyter, Berlin, 1951.

Schrödinger-Gordon-Gleichung, s. Klein-Gordon-Gleichung. [7]

Schwellenenergie. 1. Die Mindestenergie einer Partikel, die zur Herbeiführung einer endothermen Reaktion erforderlich ist, gemessen im Beobachtersystem.

2. Diejenige Energie, unterhalb der eine bestimmte Kernreaktion nicht beobachtet werden kann, z. B. bei geladenen Geschossen: die zur Durchdringung des Po-

tentialwalls benötigte Energie oder bei der Kernspaltung durch Neutronen die zur Erzeugung der auslösenden Kerndeformation erforderliche Energie (zur Spaltung von U-238 ist eine Neutronenenergie von ca. 1 MeV erforderlich). Die hier erfaßten Prozesse können endotherm oder exotherm sein (z. B. die Spaltung). [7]
engl.: threshold energy
franz.: énergie à seuil

Schwerpunktsystem, Bezugssystem, das sich mit dem Schwerpunkt reagierender Teilchen oder Massen mitbewegt. Wenn z. B. ein Neutron (Geschwindigkeit v) auf ein ruhendes Proton zufliegt, so liegt der Schwerpunkt jeweils mitten zwischen den beiden Teilchen und bewegt sich mit der Geschwindigkeit $v/2$ relativ zum Beobachter. Das S. wird u. a. für Rechnungen über Streuung und Bremsung von Neutronen benutzt, da sich das Streugesetz hier leichter formulieren läßt. Vielfach gilt isotrope Streuung im S., was zu einer Vorwärtsstreuung im L a b o r s y s t e m führt. [7]
engl.: center-of-mass system
franz.: système de centre de masse

Scylla, ein in Los Alamos erstelltes Stoßwellengerät zur Erzeugung extrem hoher Temperaturen für Fusionsprozesse. Die Leistungsaufnahme erfolgt aus einer einzigen tordierten Spulenwindung, welche in der Mitte schwächer gekrümmt ist als an den Enden, um neben der magnetischen Erzeugung eines Verdichtungsstoßes eine Spiegelgeometrie zu schaffen. Die Spule wird von einer Reihe von Kondensatoren gespeist, die eine Gesamtkapazität von 8,8 μF haben, gemessen bei 100 kV; der Stromkreis ist so ausgelegt, daß eine gedämpfte Schwingung von 200 kHz entsteht. Während der ersten Stromhalbwelle treten keine Neutronen auf, was wahrscheinlich durch unvollständige Ionisation und eingeschlossene magnetische Felder bedingt ist. In den zweiten, dritten und vierten Strommaxima kann man sie jedoch beobachten. Wichtig ist die Form der Spiegelspulen, da durch einheitliche Felder keine Neutronenerzeugung erfolgt. S. a. Astron, DCX, Equator, Fusion, Ixion, Magnetohydrodynamik, Ogra, PAM,

Perhapsotron, Pinch-Effekt, Stellerator, Table-Top, Triax. [27]

Lit.: W. C. Elmore, Neutrons from Plasma Compressed by an Axial Magnetic Field, Proc. 2nd UN Conf. on the Peaceful Uses of Atomic Energy, P 356, Genf, 1958. – J. L. Tuck, Review of Controlled Thermonuclear Research at Los Alamos, P 1860, Genf, 1958.

Spaltproduktvergiftung, Reaktorvergiftung durch die beim Reaktorbetrieb entstehenden Spaltprodukte, s. Reaktorgifte. [7]
engl.: fission product poisoning
franz.: empoisonnement par des produits de fission

Spaltungsreaktor, Reaktor auf der Basis der Kernspaltung im Gegensatz zur Fusion. [7]
engl.: fission reactor
franz.: réacteur (pile) en chaîne de fission

Spaltwahrscheinlichkeit, 1. die absolute Wahrscheinlichkeit, daß ein Neutron gegebener Energie in einem Medium eine Spaltung auslöst,

$$W_a(E) = \sum_i N^{(i)} \sigma_f^{(i)}$$

($\sigma_f^{(i)}$ Spaltquerschnitt des Kerns der Sorte i, $N^{(i)}$ Zahl der spaltbaren Kerne der Sorte i im cm^3).

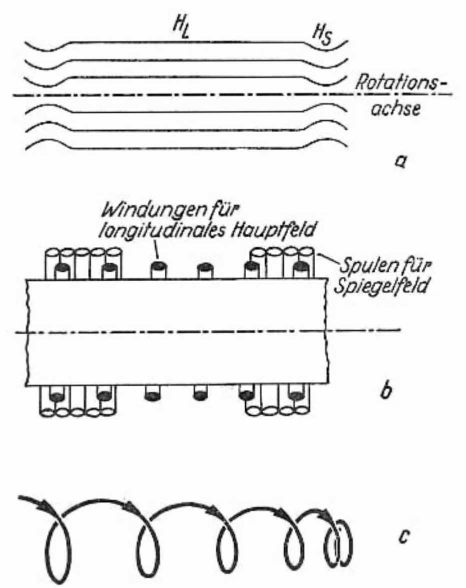
2. Die relative Wahrscheinlichkeit

$$W_r(E) = \frac{\sum_i N^{(i)} \sigma_f^{(i)}}{\sum_k N^{(k)} \sigma^{(k)}},$$

wobei $\sum_k$ über alle absorbierenden Kerne zu erstrecken ist (u. U. sind die *Bremsquerschnitte einzuschließen). Bei Berechnung einer über ein Volumen (z. B. Reaktor) gemittelten S. ist der *Neutronenausfluß zu berücksichtigen. [7]
engl.: fission probability franz.: probabilité de fission

Spiegel, magnetischer, Anordnung eines äußeren Magnetfeldes zur Halterung und Kompression eines vollionisierten *Plasmas. Der m. S. ist ein Ende einer sog. „magnetischen Flasche" (s. Abb. a). Der m. S. stellt eine Verdichtung der magnetischen Feldlinien dar. Erreicht wird dies, indem man an der Stelle, an welcher der m. S. angeordnet werden soll, dem longi-

tudinalen Hauptfeld H_L ein kurzes, stärkeres Feld H_S überlagert (s. Abb. b).
Die Ladungsträger führen Gyrationsbewegungen (s. Gyrationsradius, Zyklotronfrequenz) um die Feldlinien



des longitudinalen Feldes aus und bewegen sich zunächst auf den m. S. zu (Abb. c). Bei Annäherung an den m. S. verlangsamt sich ihre longitudinale Bewegung: Der Feldgradient bewirkt schließlich eine Umkehr der Teilchen. Es ist jedoch möglich, daß geladene Teilchen entlang der Rotationsachse durch den m. S. entweichen können. Um diese Verluste zu vermindern, kann man das gesamte Plasma in Rotation versetzen. [27]
engl.: magnetic mirror
franz.: mirroir magnétique

Standrohre, Rohre durch die der Reaktor be- und entladen wird. Sie sind auf den Reaktorkessel aufgeschweißt und ermöglichen den Zugriff für eine feste Anzahl von Brennstoffelementen. Während des Reak-

torbetriebs sind die St. verschlossen. Evtl. können durch sie auch Regelstäbe bewegt werden. [7]
engl.: stand pipes

Stellarator, von der Princeton-Universität entwickeltes Gerät zum Studium thermonuklearer Reaktionen (s. Fusion), stellt in Wirklichkeit eine „Familie" von Torusanlagen dar, welche durch die Verwendung von hohen äußeren magnetischen Feldern zur Plasmastabilisierung charakterisiert sind.
Verschiedene Aufheizungssysteme und verschiedene Gestaltungen der magnetischen Felder werden zur Zeit untersucht. In einer Ausführung des Systems in Form eines Ovals wird anfänglich das Plasma durch einen Eisenkerntransformator ohmisch und daraufhin durch magnetisches Pumpen aufgeheizt. Der B-65 Stellarator ist eine Oval-Entladungsröhre von 5,17 m Länge aus 2,1 mm starkem, rostfreiem Stahl, mit einem Durchmesser von 10 cm. Die Röhre schließt einen *diverter* ein, welcher durch Ablenkung der Teilchen im Außenrand des Plasmas die schweren Verunreinigungen herauszieht und durch eine Vakuumpumpe absaugt. Bei Untersuchungen über *Zyklotronresonanz-Heizung von Ionen wird eine Keramikröhre von 52,5 cm Länge eingebaut, welche von einer RF-Spule (Radiofrequenzspule), deren beide Enden geerdet sind, umgeben ist. Der azimutale RF-Strom wechselt seine Richtung alle $2^1/_2$ Windungen, die Winkel der Spulen wechseln entsprechend der Zyklotronwellenlänge der Ionen. Zusätzlich sind noch kleine magnetische Spiegel an den Enden der Heizstrecke vorgesehen. Eine effektive Heizwirkung durch magnetisches Pumpen wurde bisher noch nicht beobachtet. Eine größere Maschine, der C-S., soll in Princeton gebaut werden. Mit den Grundstücksarbeiten wurde bereits begonnen. Dieser wird auch Ovalform haben mit einem mittleren Radius von 107,5 cm an den Enden und einer Länge der geraden Bahn von 250 cm (Gesamtumfang 1200 cm). Der Rohrdurchmesser wird auf 20 cm erhöht. [27]

Lit.: L. Spitzer Jr. et al., The Stellarator Program, Proc. 2nd UN Conf. on the Peaceful Uses of Atomic Energy, P 2170, Genf, 1958.

Stoßfront, s. Stoßwelle.
engl.: shock front *franz.: front de choc*

Stoßwelle, Form einer unstetigen Gasbewegung, zum erstenmal von Riemann (1860) und Hugoniot (1887) untersucht. Man unterscheidet zwischen Verdichtungswellen und Verdünnungswellen. Eine Verdichtungswelle entsteht zum Beispiel, wenn man einen Kolben plötzlich mit konstanter Geschwindigkeit in einen mit einem Gas gefüllten Zylinder hineinbewegt, gleichgültig, wie groß die Geschwindigkeit des Kolbens ist. Es ist nur wesentlich, daß der Kolben eine unstetige Bewegungsänderung ausführt. Eine Verdünnungswelle entsteht, wenn der Kolben unstetig aus dem Zylinder herausbewegt wird. Ferner entstehen St.n, wenn ein Körper mit einer Geschwindigkeit, die größer als die Schallgeschwindigkeit ist, durch ein Gas bewegt wird. An der Stirnfläche des Körpers (z. B. Flugzeug) entsteht eine Verdichtungswelle, am Heck eine Verdünnungswelle. Man unterscheidet zwischen geraden und schiefen Verdichtungsstößen. Bei geraden Verdichtungsstößen ist die Gasgeschwindigkeit hinter der St. in einem mit der St. mitbewegten Koordinatensystem gleich der lokalen Schallgeschwindigkeit (Prandtl). Die Zustandsgrößen (Dichte, Druck, Temperatur) ändern sich unstetig beim Durchgang durch eine Stoßwelle (Rankine-Hugoniot-Gleichungen). Die Zustandsänderungen eines Gases beim Durchgang durch eine St. sind irreversibel. Vernachlässigt man dissipative Erscheinungen (*Wärmeleitung, *Viskosität, *Diffusionserscheinungen), dann ist die Dicke der St. verschwindend klein. Bei Berücksichtigung solcher Effekte kommt die Dicke der St. in die Größenordnung derjenigen charakteristischen Länge, die für solche dissipativen Vorgänge maßgeblich ist, im Falle eines neutralen Gases in die der mittleren freien *Weglänge (s. a. Stoßwelle, hydromagnetische). Die Stirnseite der Stoßwelle wird auch als Stoßfront bezeichnet. [27]

engl.: shock wave *franz.: onde de choc*

Lit.: K. Oswatitsch, Gasdynamik, Springer, Wien, 1952. – R. Courant and K. O. Friedrichs, Supersonic Flow and Shock Waves, New York, Interscience Publishers, 1948.

Stoßwelle, hydromagnetische. Hier handelt es sich um eine *Stoßwelle, die sich in einem *Plasma mit äußerem Magnetfeld ausbreitet. In diesem Fall (ins-

besondere bei verdünnten Plasmen) ist nicht mehr die mittlere freie Weglänge, sondern der *Gyrationsradius die charakteristische Größe für die Dicke der Stoßwelle. Eine hydromagnetische Stoßwelle kann z. B. durch einen plötzlichen Anstieg des magnetischen Feldes erzeugt werden (hier ersetzt das Magnetfeld den Kolben im Beispiel für eine Stoßwelle im Neutralgas). Dies geschieht beim *Theta-Pinch. Beim Durchgang einer hydromagnetischen Stoßwelle verhalten sich Elektronen und Ionen verschieden. Infolge der Konstanz des magnetischen Moments verhalten sich die Elektronen adiabatisch und erfahren nur eine relativ geringe Temperatursteigerung. Die Ionen jedoch verhalten sich nicht-adiabatisch und man erwartet deshalb erhebliche Temperatursteigerung des Ionengases. Diese Vorgänge sind noch nicht zufriedenstellend untersucht. Hydromagnetische Stoßwellen spielen eine Rolle bei der Erzeugung extrem hoher Plasmatemperaturen zur Erzielung thermischer *Fusionsprozesse (s. a. Magnetohydrodynamik, magnetohydrodynamische Wellen). [27]
engl.: hydromagnetic shock wave
franz.: onde de choc hydromagnétique
Lit.: C. S. Gardner et al., Proc. 2nd UN Conf. on Peaceful Uses of Atomic Energy, P 374, Genf, 1958.

Strahlung, charakteristische, von einem Atom ausgehende Strahlung, wenn ein Elektron der Hülle auf eine weiter innen gelegene Schale übergeht. Die Wellenlänge der emittierten Strahlung hängt nur vom jeweiligen Element und den beteiligten Energieniveaus ab. Sie wird z. B. vom Antikathodenmaterial einer Röntgenröhre emittiert. Man unterscheidet je nach der Quantenzahl der Endbahn K-, L-, M- . . . Serien. Die K-Serie hat die kürzeste Wellenlänge. Der Zusammenhang zwischen der Wellenlänge λ einer Linie und der Ordnungszahl Z des Elementes, zu dessen ch. S. die Linie gehört, ist durch das *Moseleysche Gesetz gegeben:

$$\lambda = \frac{A}{(Z - B)^2}$$

(A, B empirische Konstanten). S. a. Röntgen-Strahlung, charakteristische. [7, 17]
engl.: characteristic radiation
franz.: rayonnement caractéristique

Strahlung, monochromatische, Strahlung mit einer bestimmten Energie bzw. Wellenlänge. Monochromatische R ö n t g e n - Strahlen lassen sich mit Kristallen erzeugen. Filterung ergibt nur eine annähernd m. S. γ-Strahlen, die von Kernen emittiert werden, haben eine definierte Energie, sind also monochromatisch. [17]
engl.: monoenergetic radiation
franz.: rayonnement monochromatique

Synchrophasotron, das größte z. Z. im Betrieb befindliche Protonen-*Synchrotron. Das S. befindet sich im sowjetischen Zentral-Kernlaboratorium in Dubna an der Wolga, hat etwa 60 m Durchmesser, ein Magnetgewicht von 36 000 t und liefert Protonenstrahlen von rund 10 000 MeV. [1]
engl.: synchro-phasotron
franz.: synchro-phasotron

T

Table-Top, beim Radiation Laboratory der Universität von Kalifornien (UCRL) in Livermore erstellte Anlage zur Aufheizung von Plasmen durch magnetische Kompression. Das angelegte longitudinale Hauptmagnetfeld besitzt an den Enden magnetische *Spiegel. Das Axialfeld hat eine Anstiegszeit von etwa 500 µs und eine Abklingzeit von 20 ms. Die Gesamtenergie beträgt 0,5 MJoule. Mit dieser Anlage ist es möglich, für die Dauer einiger Millisekunden ein sehr heißes Plasma zu erzeugen.

Eine Weiterentwicklung des Geräts, als *Toy-Top* bezeichnet, verwendet einen 3stufigen Kompressionsvorgang. Ferner wurde in diesem Zusammenhang das Gerät „Felix“ gebaut, welches dem Studium der Plasmahalterung über längere Zeiten dient. [27]

Lit.: R. F. Post et al., Summary of the UCRL Pyroton Program, Proc. 2nd UN Conf. on the Peaceful Uses of Atomic Energy, P 377, Genf, 1958.

Theta-Pinch, Bezeichnung (in Deutschland üblich) für den *Pinch-Effekt, wenn das angelegte elektrische Feld nur eine Komponente in azimutaler (ϑ-) Richtung

hat, $\mathfrak{E} = (O, E_\vartheta, O)$, wobei r, ϑ, z die Zylinderkoordinaten sind. Dieser Pinch wird durch ein Magnetfeld (Feldlinien in z-Richtung) erzeugt, das von dem durch eine Spulenwicklung (in ϑ-Richtung) fließenden elektrischen Strom herrührt. Die Kompression des *Plasmas erfolgt somit durch ein ä u ß e r e s Magnetfeld (im Gegensatz zum *z-Pinch). Eine wirkungsvolle Kompression des Plasmas ist nur dann vorhanden, wenn das Magnetfeld nicht in das Plasma hineindiffundiert. Dies ist näherungsweise für sehr große elektrische Leitfähigkeit der Fall. Die Feldfreiheit des Plasmas kann dadurch erklärt werden, daß das äußere Magnetfeld im Plasmainnern Wirbelströme induziert, die gleichgroß wie die in den Spulen fließenden Ströme sind, deren Richtung aber entgegengesetzt ist. Diese Wirbelströme erzeugen wiederum im Plasmainnern ein Magnetfeld, welches gleichgroß, aber entgegengesetzt zum äußeren Magnetfeld ist und letzteres somit im Plasmainnern kompensiert. Ist die elektrische Leitfähigkeit nicht unendlich groß, so werden die induzierten Wirbelströme gedämpft und das resultierende Magnetfeld im Plasmainnern kann das äußere Feld nicht mehr ganz kompensieren. [27]

Thomas-Fermi-Methode, s. Atom, statistisches (Nachtrag).
engl.: Thomas-Fermi-method
franz.: méthode de Thomas et Fermi

Triax, Anlage zur Erzeugung eines linearen *Pinch-Effekts im Plasma (University of California Radiation Laboratory, Livermore).

Spitzenströme von $6 \cdot 10^5$ A bei einer Gesamtenergie von 10^4 Joule wurden erreicht. Unter günstigen Bedingungen wurden bis zu 10 Pulsationen über etwa 3 ms Gesamtdauer beobachtet. Zur Erzielung sehr hoher Temperaturen sollen Ströme bis zu $1{,}5 \cdot 10^6$ A erzeugt werden. S. a. Astron, DCX, Equator, Fusion, Ixion, Magnetohydrodynamik, Ogra, PAM, Perhapsotron, Scylla, Stellerator, Table Top. [27]

Lit.: S. A. Colgate et al., The Livermore Shock and Pinch Program, Proc. 2nd UN Conf. on Peaceful Uses of Atomic Energy, P 1064, Genf, 1958.

U

Umladung, Ladungsaustausch zwischen Ionen und Atomen, tritt z. B. beim Durchgang von geladenen Partikeln durch Materie oder bei nicht isothermen Plasmen ein. Bei letzteren bedeutet die U. einen beträchtlichen Energieverlust, wenn Ionen und neutrale Atome verschiedene Energien haben. [7]
engl.: charge transfer
franz.: transfert de charge

Unbestimmtheitsbeziehung (Ungenauigkeitsrelation). Wegen des empirisch festgestellten *Dualismus von Welle und Teilchen, unter dem alle Elementargebilde erscheinen, kann keine der üblichen Beschreibungsweisen durch die Teilchenphysik oder die Wellenphysik bis zur letzten Konsequenz gelten. Beide Betrachtungsweisen können nur als Grenzfälle angesehen werden, die im Einzelfall mehr oder weniger realisiert sind. Sie resultieren aus etwas Übergeordnetem. Da dieses logischerweise nicht auch mit den Qualitäten der klassischen Physik ausgezeichnet sein kann, aber die Begriffe der klassischen Physik zu benutzen sind, um physikalische Realitäten und Vorgänge zu verdeutlichen, liegt es nahe, zu untersuchen, wie weit die Begriffe der klassischen Physik, also sowohl die des *Wellenbildes wie die des *Teilchenbildes, anwendbar sind. Das Ergebnis dieser Untersuchung sind die U.n. Sie gelten jeweils zwischen kanonisch konjugierten Variablen und drücken aus, daß diese nicht gleichzeitig beliebig genau bestimmt sein können.
Die Tatsache, daß der Ort x eines Elektrons mit einer gewissen Genauigkeit Δx gemessen wurde, läßt sich im Wellenbild, das ja gleichzeitig gilt, durch ein Wellenpaket von *Materiewellen beschreiben. Ein Wellenpaket besteht aus einer Überlagerung von Wellen der verschiedensten Wellenlängen. Nun ist die Wellenlänge λ, die dem Elektron zuzuordnen ist, nicht mehr beliebig, wenn man etwas über den Impuls p des Elektrons weiß. Nach der de Broglieschen Beziehung ist

$$\lambda = h/p \; ; \qquad (1)$$

h Plancksches Wirkungsquantum.

Unbestimmtheitsbeziehung

Auf die Strecke Δx mögen n Wellenberge und -täler dieser Materiewelle entfallen:

$$\Delta x/\lambda = n\,. \tag{2}$$

Damit aber ein Wellenpaket zustande kommen kann, dessen Amplitude außerhalb Δx Null ist, muß es mindestens Wellen geben, von denen $n + 1$ Wellenberge und -täler auf Δx entfallen:

$$\frac{\Delta x}{\lambda - \Delta\lambda} \geqq n + 1\,. \tag{3}$$

Die Kombination von (2) und (3) ergibt

$$\frac{\Delta x\,\Delta\lambda}{\lambda^2} \geqq 1$$

oder, da aus (1)

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda^2} = \frac{\Delta p}{h}$$

folgt, ergibt sich

$$\Delta x\,\Delta p \geqq h\,. \tag{4}$$

Das ist die U. zwischen Ortskoordinate und zugehörigem Impuls. Sie besagt, daß, je genauer die Ortskoordinate festgelegt wird, je schmäler also das Wellenpaket in der x-Richtung zusammengedrängt wird, desto ungenauer der Impuls p_x angebbar wird. Um diesen Preis ist das Teilchenbild mit dem Wellenbild vereinbar. Betrachtet man die Bewegung nicht nur in der x-Richtung, so ergeben sich drei Gleichungen von der Art (4):

$$\begin{aligned} \Delta x\,\Delta p_x &\geqq h\,,\\ \Delta y\,\Delta p_y &\geqq h\,,\\ \Delta z\,\Delta p_z &\geqq h\,. \end{aligned} \tag{4a}$$

Im Prinzip ähnliche Gleichungen ergeben sich, wenn man die Grenzen der Anwendbarkeit des Wellenbildes diskutiert, für die Größen des Wellenvorgangs, z. B. für elektrische und magnetische Feldstärken.

Zu den Gl. (4a) tritt noch eine weitere, die die Zeit enthält. Zu ihr kommt man, wenn man statt der Zeit t den Ort festhält und nach der Zeit Δt fragt, die verstreicht, bis die in Δx gelegenen Wellenzüge die Ebene $x =$ const passiert haben. Es ergibt sich dann:

$$\Delta E\,\Delta t \geqq h\,. \tag{4b}$$

Man verifiziert leicht, daß die Unbestimmtheiten erst in atomaren Dimensionen praktische Bedeutung bekommen. Ist $\Delta x \approx 10^{-8}$ cm, so wird für ein Elektron ($m = 9{,}1 \cdot 10^{-28}$ g) die Unbestimmtheit in der Geschwindigkeit

Unbestimmtheitsbeziehung

$$\Delta v \approx 7{,}3 \cdot 10^{8} \text{ cm/s} .$$

Das erscheint als eine sehr große Geschwindigkeit, ist aber nur um eine Größenordnung höher als die ungeordnete thermische Geschwindigkeit, die dem Elektron bei Zimmertemperatur zukäme. Ein Elektronenstrahl, der den Namen eines „Strahls" verdient, weist grundsätzlich Elektronen mit Geschwindigkeiten auf, die groß gegen v_{therm} sind. Sie sind daher in der Regel auch groß gegen

$$\Delta v = 7 \cdot 10^{8} \text{ cm/s} .$$

Wollte man aber versuchen, einen Elektronenstrahl mit $v < \Delta v$ zu erzeugen, so würde dies sich als ein sinnloses Unterfangen herausstellen. Denn man kann bei $v < \Delta v = 7 \cdot 10^{8}$ cm/s nicht von einer definierten oder definierbaren Geschwindigkeit reden. Diese Voraussetzung trifft auf die Elektronen im Atom zu. Diesen ist daher keine Bahn wie in der klassischen Physik zuzuordnen.

Die Herleitung der U., die sich auf den empirisch begründeten Dualismus stützt, zeigt, daß es sich bei dieser Unbestimmtheit nicht um eine menschliche Unzulänglichkeit in der Entwicklung genügend genauer Meßmethoden oder Rechenverfahren handelt, sondern um eine prinzipielle Eigenschaft der elementaren (und der zusammengesetzten) Bausteine unterhalb der durch das Planck sche Wirkungsquantum angegebenen Grenze. Auch der Laplace sche Dämon hätte diese Grenze zu respektieren. [7]

engl.: indetermancy principle,
uncertainty principle

franz.: principe d'incertitude,
principe d'indétermination

Lit.: W. Heisenberg, Die physikalischen Prinzipien der Quantentheorie, Hirzel, Stuttgart und Leipzig, 1949. – Grete Hermann, Die naturphilosophischen Grundlagen der Quantenmechanik, Abh. der Friesschen Schule, Bd. 6, 2. Heft, Verlag Öffentliches Leben, Berlin, 1935. – C. F. v. Weizsäcker, Zum Weltbild der Physik, Hirzel, 7. Aufl., Stuttgart, 1957.

Unschärferelation, Unsicherheitsbeziehung sind Synonyme zu *Unbestimmtheitsbeziehung. [7]

V

Vereinigtes Institut für Kernforschung, internationales Gemeinschaftsinstitut der sozialistischen Länder, das im März 1956 in Moskau gegründet wurde. Mitgliedstaaten sind Albanien, Bulgarien, China, ČSR, DDR, Koreanische Volksrepublik, Mongolische Volksrepublik, Polen, Rumänien, Ungarn, UdSSR, Vietnam. Die Finanzierung des Instituts erfolgt durch die Mitgliedstaaten abgestuft nach deren Möglichkeiten (UdSSR 47,25 %, China 20 %, DDR 6,74 % usw.), jedoch sind alle Mitgliedstaaten in bezug auf die Ausnutzung der wissenschaftlichen Einrichtungen und die Leitung des Instituts gleichberechtigt. Die Sowjetunion übergab dem Vereinigten Institut bei seiner Gründung das bereits seit längerer Zeit arbeitende ehemalige „Institut für Kernprobleme" mit dem z. Z. größten Synchrozyklotron (*Phasotron) der Welt (zuerst in Betrieb genommen 1949, seit 1953 Maximalenergie 680 MeV f. Protonen) und das „Elektrophysikalische Laboratorium" mit dem z. Z. größten Teilchenbeschleuniger der Welt (*Synchrophasotron, 10 GeV), der im April 1957 in Betrieb genommen wurde. Heute gliedert sich das Institut in folgende Abteilungen: 1. Das Laboratorium für Kernprobleme mit dem 680 MeV-Synchrozyklotron; 2. das Laboratorium für hohe Energien mit dem 10 GeV-Synchrophasotron; 3. das Laboratorium für theoretische Physik; 4. das Laboratorium für Neutronenphysik, das sich noch im Aufbau befindet und das mit einem schnellen Impuls-Reaktor als Neutronenquelle ausgerüstet wird; 5. das Laboratorium für Kernreaktionen, das ebenfalls noch im Aufbau begriffen ist und einen Beschleuniger für schwere Ionen erhält. Direktor des Instituts ist z. Z. D. I. Blochinzew (UdSSR), Vizedirektoren sind V. Votruba (ČSR) und M. Danysz (Polen). Dem Wissenschaftlichen Rat des Instituts gehören als Vertreter der Deutschen Demo-

kratischen Republik G. Hertz, H. Barwich und H. Pose an. Alle Einrichtungen des Instituts befinden sich in *Dubna, 150 km nördlich von Moskau. Laut Statut werden die Forschungsergebnisse des Instituts grundsätzlich publiziert. [11]

Lit.: Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Akademie-Verlag, Berlin, 1958. – V. P. Dzhelepov u. B. M. Pontecorvo, Investigations on High Energy Physics Performed on the Synchrocyclotron at the Laboratory of Nuclear Problems of the Joint Institute for Nuclear Research, Akademie-Verlag, Berlin, 1958.

W

Wärmedurchgangszahl. Wird Wärme zwischen zwei Stoffen ausgetauscht, die durch eine Wand getrennt sind, so definiert man, ähnlich wie beim Wärmeübergang

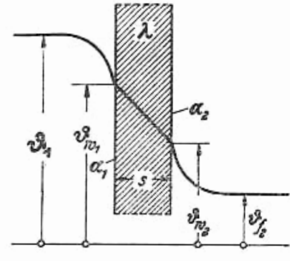
$$Q = k\,F\,(\vartheta_{f_1} - \vartheta_{f_2})\,,$$

wobei Q die übertragene Wärmemenge, k die Wärmedurchgangszahl, F die auf die Wärmedurchgangszahl bezogene Fläche, ϑ_{f_1} die Temperatur des Stoffes I und ϑ_{f_2} die Temperatur des Stoffes II bedeuten (s. Abb.). Im Beharrungszustand geht zu beiden Seiten der Wand dieselbe Wärmemenge Q über, außerdem wird sie durch Leitung innerhalb der Wand weitergeführt. Während zwischen Umgebung und Wand der Wärmeübergang durch das Newtonsche Abkühlungsgesetz bestimmt wird, gilt innerhalb der Wand das Fouriersche Wärmeleitungsgesetz, also

$$Q = k\,F\,(\vartheta_{f_1} - \vartheta_{f_2}) = \alpha_1\,F_1\,(\vartheta_{f_1} - \vartheta_{w_1})$$
$$= -\lambda\,F_m\,\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}\mathfrak{r}}\,\vartheta(\mathfrak{r}) = \alpha_2\,F_2\,(\vartheta_{w_2} - \vartheta_{f_2})\,.$$

Darin bedeuten ϑ_{w_1} und ϑ_{w_2} die Wandtemperaturen auf der Seite der Stoffe I und II, α_1 und α_2 die zugehörigen Wärmeübergangszahlen, F_1 und F_2 die zugehörigen Flächen, λ die Wärmeleitzahl der Trennwand, F_m die für diese einzusetzende mittlere Oberfläche. $\mathrm{d}\vartheta(\mathfrak{r})/\mathrm{d}\mathfrak{r}$ ist der mittlere Temperaturgradient zwischen $\mathfrak{r}_1$ und $\mathfrak{r}_2$, der aus der Wärmeleitgleichung zu berechnen ist (bei einer ebenen Platte $= 1/s\,(\vartheta_{w_1} - \vartheta_{w_2})$. Mit

den drei letzten Gleichungen können die beim Wärmedurchgang nicht interessierenden Wandtemperaturen ϑ_{w_1} und ϑ_{w_2} eliminiert werden. Man erhält durch Ko-



effizientenvergleich $k\,F$. In Abhängigkeit von der Geometrie ergeben sich die in der Tabelle dargestellten reziproken Werte von $k\,F$. Handelt es sich um geschichtete Wände, so ist das Wärmeleitglied durch eine entsprechende Summe zu ersetzen (s. Tabelle). [7]

	$\frac{1}{k\,F}$	Geschichtete Wand Wärmeleitglied
Platte	$\frac{1}{F_1\,\alpha_1} + \frac{s}{F_m\,\lambda} + \frac{1}{F_2\,\alpha_2}$ $F_0 = F_m = F_1$; s Wanddicke	$\frac{1}{F_m} \sum_{i=1}^{n} \frac{s_i}{\lambda_i}$
Hohl-Zylinder	$\frac{1}{\alpha_1\,F_1} + \frac{1}{2\,\pi\,l\,\lambda} \cdot \ln\frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2\,F_2}$ l Länge d. Zylinders; $d_{1,2}$ Durchmesser	$\frac{1}{2\,\pi\,l} \sum_{i=1}^{n} \frac{\ln\frac{d_i}{d_{i-1}}}{\lambda_i}$
Hohl-Kugel	$\frac{1}{\alpha_1\,F_1} + \frac{1}{2\,\pi\,\lambda}\,\frac{d_2 - d_1}{d_2\,d_1} + \frac{1}{\alpha_1\,F_2}$	$\frac{1}{2\,\pi} \sum_{i=1}^{n} \frac{d_i - d_{i-1}}{d_i\,d_{i-1}}$

engl.: overall coefficient of heat transfer
franz.: coefficient global de transmission de chaleur
Lit.: Gröber, Erk, Grigull, Wärmeübertragung.

Wellenpaket ist eine solche Überlagerung von Wellen aller möglichen Frequenzen, daß praktisch nur in einem kleinen Raumgebiet $\varDelta G$ eine große Amplitude als Summe aller Wellen vorhanden ist. Außerhalb des

Gebiets ist die Intensität des Wellenvorgangs praktisch Null. Ein allgemeiner mathematischer Satz besagt, daß durch geeignete Überlagerung von Partialwellen jede beliebige Gestalt eines Wellenpakets erzielt werden kann.

Ein W. ist u. U. nicht über längere Zeiten beständig, sondern „zerfließt". Damit ist gemeint, daß infolge verschiedener Ausbreitungsgeschwindigkeiten der Partialwellen die Überlagerung, wie sie zu einem bestimmten Zeitpunkt im Raumgebiet ΔG vorlag, sich verändert. Damit verändert sich natürlich auch die Form des W.s auf seinem Weg durch den Raum. Es bedeckt größere Bereiche und schließlich ist nichts mehr von ihm zu bemerken.

Das W. ist wesentlich für das Verständnis des *Dualismus von Welle und Teilchen, der für Gebilde des Mikrokosmos eigentümlich ist. Danach muß ein Elementargebilde sich sowohl im *Wellenbild wie im *Teilchenbild darstellen lassen. Für das Teilchen ist die Konzentration auf engem Raum charakteristisch. Dem entspricht dann im Wellenbild stets ein W. Im Falle endlicher Ruhmasse wird es aus Materiewellen aufgebaut. Wenn nach einiger Zeit – die Dauer hängt von dem darzustellenden Elementargebilde ab – das W. zerfließt, so ist dies im Wellenbild der Ausdruck für die Unbestimmtheit des Impulses, die im Teilchenbild gilt (s. Unbestimmtheitsbeziehung).

Die nachstehende Tabelle gibt eine Vorstellung von der Abhängigkeit der Beständigkeit eines W.s von den äußeren Bedingungen. In der letzten Spalte ist die Zeit angegeben, die verstreicht, bis sich das W. von ΔG auf einen Raum von der doppelten Linearausdehnung verbreitert hat (Zerfließzeit).

Teilchen	Masse	Anfangsbreite von ΔG	Zerfließzeit
Makroskopisches Teilchen	1 g	0,2 cm	$6 \cdot 10^{17}$ a
Elektron	$9 \cdot 10^{-28}$ g	0,2 cm	$2 \cdot 10^{-2}$ s
		10^{-8} cm	10^{-16} s

Man sieht, daß für makroskopische Massen und makroskopische Anfangsbreiten eine Beständigkeit vorhanden ist, die viel größer ist als das Alter der Welt. Wird durch eine Messung ein Elektron innerhalb derselben Anfangsbreite festgestellt, so ist die entsprechende Zeit sehr viel kürzer. Berücksichtigt man aber, daß selbst ein sehr „langsames" Elektron, mit dem man bei Zimmertemperatur noch experimentieren kann, eine (gerichtete) Geschwindigkeit von $^1/_{100}$ Lichtgeschwindigkeit haben muß (thermische, ungeordnete Geschwindigkeit bei Zimmertemperatur bereits $^1/_{1000}$ Lichtgeschwindigkeit) und somit Strecken von 1 m in $3 \cdot 10^{-7}$ s zurücklegt, so ist selbst die Zerfließzeit von $2 \cdot 10^{-2}$ s ohne praktische Bedeutung. Für makroskopische Anfangsbreiten kann man daher immer von einem Zerfließen der W.e absehen. Die Verhältnisse werden aber anders, wenn man ein Elektron in Atomdimensionen (10^{-8} cm) betrachtet: Das W. zerfließt völlig in ungeheuer kurzer Zeit. Das heißt, ein solches Elektron, das durch eine Messung auf Dimensionen von der Größe des Atomdurchmessers lokalisiert wäre, kann nicht längs einer noch so kurzen Bahn verfolgt werden. Im Teilchenbild drückt sich diese Tatsache in einem extrem ungenau definierten Impuls aus. [7]

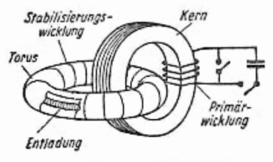
engl.: wave packet

Lit.: Bez. der math. Darstellung der Wellenpakete: z. B. A. Sommerfeld, Atombau und Spektrallinien, Bd. II, Vieweg, Braunschweig, 1951. – W. Weizel, Lehrb. d. theor. Physik, Bd. II, Springer, Berlin, 1950. – Bez. der phys. Bedeutung der Wellenpakete: W. Heisenberg, Die physikalischen Prinzipien der Quantenmechanik, Hirzel, Stuttgart, 1949.

Z

Zeta *(Zero Energy Thermonuclear Assembly)*, englisches Versuchsgerät zum Studium *thermonuklearer Reaktionen. In diesem Gerät wurden Ende 1957 Temperaturen bis zu einigen 10^5 °K erreicht (die früheren Angaben mit $4{,}6 \cdot 10^6$ °K erwiesen sich als Irrtum). Es handelt sich um ein Toroid von 3 m Durchmesser und 1 m Rohrdurchmesser aus 2,5 cm starkem Aluminium-

blech (s. Abb.). Im Rohr befand sich schweres Wasserstoffgas (mit einem Zusatz von 5 % Stickstoff) unter einem Druck von etwa 10^{-4} Torr. Durch Bestrahlung



mit Radiofrequenz wurde eine Entladung erzeugt, die eine gewisse Leitfähigkeit des Gases bedingt. Das Toroid ist mit einer Magnetwicklung versehen, die ein axiales Magnetfeld bis zu 400 Gauß erzeugen kann, das zur Unterstützung des *Pinch-Effektes dient. Das Plasma im Toroid ist Sekundärwicklung eines Stoßtransformators, der von einer Kondensatorenanlage ($5 \cdot 10^5$ J) gespeist wird. Es gelang, im Gas für die Dauer von $4 \cdot 10^{-3}$ s Stromstöße bis zu 200 000 A zu erzeugen.

Der Stromkanal mit einem Durchmesser von 20 bis 40 cm erwies sich während dieser Zeitdauer als stabil und klar von der Gefäßwand abgelöst. Darin liegt die Hauptbedeutung dieser Versuche.

Die Elektronendichte betrug $6 \cdot 10^{17}$ cm^{-3}, so daß das Plasma als vollionisiert betrachtet werden kann. Während des Impulses zeigte sich eine homogene und isotrope Neutronenstrahlung, die vermutlich zum großen Teil der Reaktion

$$D + D \rightarrow He^3 + n + 3{,}25 \text{ MeV}$$

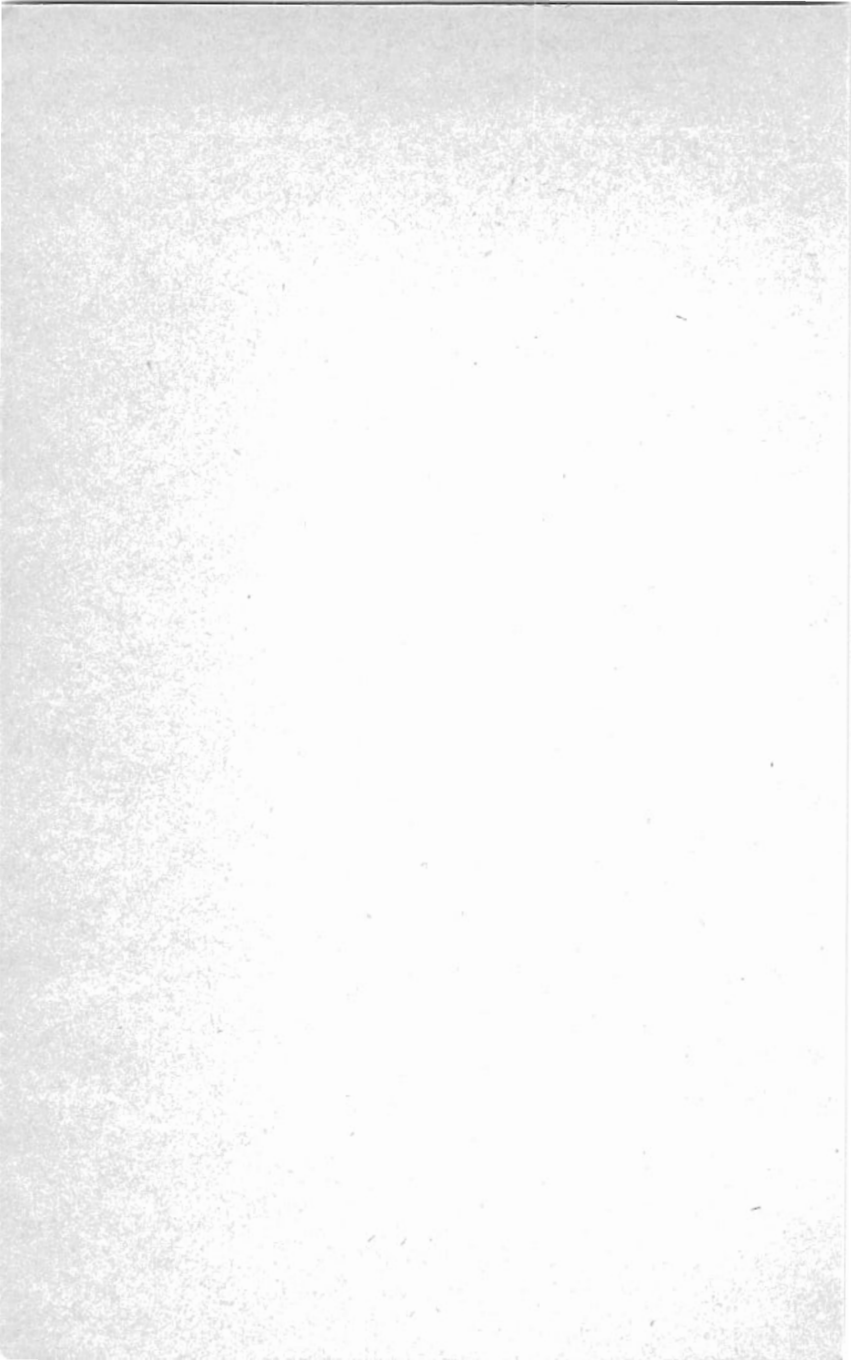
entstammt (s. Fusion). Die notwendige Energie zur Auslösung dieser Reaktion entstammt jedoch nicht einer Temperaturbewegung, wie man zuerst glaubte. Gleichzeitig trat eine Röntgen-Strahlung aus dem Plasmaring auf (ca. 10 Quanten von 20 ... 30 keV pro Puls). Nach dem Stoß expandierte das Gas und wanderte gegen die Rohrwand. Nach einer Kühlpause von 10 s erfolgte der nächste Stromstoß. [13]

Lit.: Thonemann et al., Nature 181, Nr. 4604, 217 (1958.

z-Pinch, Bezeichnung (in Deutschland üblich) für den *Pinch-Effekt, wenn das bei der elektrischen Entladung angelegte elektrische Feld nur eine Kompo-

nente in z-Richtung hat, $\mathfrak{E} = (0, 0, E_z)$, wobei r, ϑ, z die Zylinderkoordinaten sind (s. a. ϑ-Pinch). Beim z-Pinch handelt es sich um eine Plasmakompression durch das Eigenmagnetfeld der Entladung. [27]

Wörterverzeichnis



Wörterverzeichnisse

Das englisch-deutsche und das französisch-deutsche Wörterverzeichnis überdecken den Bereich des Lexikons. Die Eigenart jeder Sprache bringt mit sich, daß Begriffe und insbesondere Verfahren, für die in der einen Sprache knappe, prägnante Ausdrücke bestehen, in der anderen unter Umständen durch Umschreibungen wiedergegeben werden müssen. Daher kann von vornherein nicht jede Vokabel des Wörterverzeichnisses ihre Erklärung im Lexikon finden, wenn man Trivialitäten vermeiden will. Außerdem ergibt sich von Natur aus für ein fachliches Vokabularium eine andere Auswahl als für ein Lexikon, in dem fast nur Substantive vorkommen. Trotz dieser Schwierigkeit, deren grundsätzliche Vermeidung nach Meinung der Herausgeber eine wesentliche Beschränkung im Gebrauch bedeutet hätte, wird man im Hauptteil immer einschlägige Stichworte finden, die das Verständnis des fremdsprachigen Ausdrucks ermöglichen.



A

aberration, chromosome	Chromosomenschaden
A-bomb=atomic bomb	Atombombe
above critical	überkritisch
absorbent, syn. f. absorber	Absorber
absorbing rod	Absorberstab
absorption	Absorption
absorption analysis	Absorptionsanalyse
absorption coefficient	Absorptionskoeffizient
absorption control	Regelung durch Absorption
absorption cross section	Absorptionsquerschnitt
absorption curve	Absorptionskurve
absorption device	Absorberelement
absorption discontinuity	Absorptionskante
absorption edge, or limit	Absorptionskante
K absorption limit	K-Absorptionskonstante
absorption line	Absorptionslinie
absorption loss	Absorptionsverlust
absorption mean free path	mittlere freie Absorptionsweglänge
absorptive power	Absorptionsvermögen
absorptivity	Absorptionsvermögen
abundance	Häufigkeit
accelerator	Beschleuniger
accelerating chamber	Beschleunigungsraum
accelerating tube	Beschleunigungsrohr
accelerating voltage	Beschleunigungsspannung
acceleration	Beschleunigung
accelerator	Beschleuniger
accessibility problem	Frage der Zugänglichkeit strahlenverseuchter Räume
accident	Unfall, Versagen, Zwischenfall
accidental coincidence	Zufallskoinzidenz
accumulator tank	Sammelbehälter
acetid acid	Essigsäure
acidity	Azidität, Säuregrad
actinides	Aktiniden

actinium	Aktinium
actinium series	Aktiniumreihe
actinon	Aktinon
actinometry	Aktinometrie
actinouranium series	Uran-Aktinium-Reihe
activated water	aktiviertes Wasser
activation	Aktivierung
activation analysis	Aktivierungsanalyse
activation cross section	Aktivierungsquerschnitt
activation energy	Aktivierungsenergie
activation method	Aktivierungsmethode
active	1. allg. wirksam, 2. syn. für *fissionable:* spaltbar, 3. syn. für *radioactive:* radioaktiv
active deposit	(radio)aktiver Niederschlag
active lattice	aktives Gitter, Spaltzone
active material	spaltbares Material
active product	(radio)aktives Produkt
active section, active zone	Spaltzone, aktiver Teil eines Reaktors
activity	Aktivität, Radioaktivität
activity curve	Aktivitätskurve
acute exposure	kurzfristige Bestrahlung
acute irradiation	kurzfristige Bestrahlung
acute radiation injury	akuter Strahlenschaden
acute radiation syndrome	akutes Strahlensyndrom
adjoint	zugeordnet, adjungiert
adjoint function	adjungierte Funktion
adjoint equation	adjungierte Gleichung
adsorbate	eine absorbierte Substanz, Sorbend, Sorptiv
adsorbent	Adsorbens, adsorbierende Substanz, Sorbens
adsorption	Adsorption
advantage factor	optimales Bestrahlungsverhältnis
aerosol	Aerosol
aerosol filter	Aerosol-Filter
after count	Nachentladung
after discharge	Nachentladung

afterglow	Bildnachleuchten
after-heat	Nachwärme
age	Alter, Fermi-Alter
chemical age	Alter auf Grund chemischer Analyse
age equation	Altersgleichung
age hardening	Aushärtung, Alterung
age theory	Alterstheorie
agent	Stoff, Mittel, Agens
aggegrate recoil	Aggregatrückstoß
aging	kontinuierliches Abbremsen, „Altern"
agranulocytosis	Agranulozytose
air activation	Luftaktivierung
air borne contamination	Luftverseuchung
air borne dust	Flugstaub
air cooling	Luftkühlung
air dose	Luftdosis
air equivalent	Luftäquivalent
air equivalent ionization chamber	Luftwändekammer
air monitor	Luftwarngerät
air wall chamber	Luftwändekammer
air wall material	luftäquivalenter Stoff
alarm	Alarm
albedo	Albedo
alkyl pyrophosphat	Alkyl-Pyrophosphat
allobar	allobar
alpha chamber	α-Strahlenkammer
alpha counter	α-Zähler
alpha counter tube	α-Zählrohr
alpha decay, alpha disintegration	α-Zerfall
alpha emitter	α-Strahler
alpha particle	α-Teilchen
alpha particle model of nucleus	α-Teilchenmodell des Atomkerns
alpha particle nucleus	α-Teilchen-Kern
alpha particle spectrum	Alphaspektrum, Energiespektrum der α-Teilchen
alpha radiation	Alpha-Strahlung

alpha ray	Alpha-Strahl
alpha ray spectrometer	Alpha-Strahlen-Spektrometer
alpha transformation	α-Umwandlung, α-Zerfall
alpha uranium	α-Uran
alphatron	Alphatron
alphina particle	Alphina-Teilchen
alumina	Tonerde
aluminum	Aluminium
americium	Amerizium
amplidyne	Amplidyne
amplification	Verstärkung
amplifier	Verstärker
ampliscaler	100fach-Zähler
amplitude	Amplitude
amplitude frequency plot	Amplitudenfrequenzgang
amplitude sensitive relay	Grenzwertgerät
ampule opener	Ampullenöffner
amu (atomic mass unit)	ME (atomare Masseneinheit)
analysis	Analyse
anaerobic	anaërob
analog computer	Analogrechner, Analogierechenmaschine
anaphase	Anaphase
anemia, anaemia	Anämie, Blutarmut
anemometer	Anemometer
angle of deflection	Ablenkwinkel
angle of incidence	Einfallswinkel
angle straggling	Winkelstreuung
angular acceleration	Winkelbeschleunigung
angular correlation	Winkelkorrelation
angular distribution	Winkelverteilung
angular momentum	Drehimpuls, Impulsmoment
anion	Anion
anisotropism	Anisotropie
annealing	Glühen, Tempern, Anlassen
annihilation	Vernichtung, Zerstrahlung

annihilation radiation	Vernichtungsstrahlung
annunciator pannel	Meldetafel
anticoincidence	Antikoinzidenz
anticoincidence circuit	Antikoinzidenzschaltung
anticoincidence counter	Antikoinzidenzzähler
anticommutative	antikommutativ
anticommutator	Antikommutator
anticontamination cothing	Schutzkleidung
antidiffusion screen	Streustrahlenblende, Bucky-Blende
antimony	Antimon
antineutrino	Antineutrino
antineutron	Antineutron
antiparticle	Antiteilchen
antiproton	Antiproton
appearance potential	Erscheinungspotential
aqueous homogeneous reactor	wäßrig-homogener Reaktor
arc spectrum	Bogenspektrum
area monitor	Monitor an einer bestimmten Stelle Flächenmonitor
areal activity	Flächenaktivität
areal density	Flächendichte, Flächengewicht
argon	Argon
argon activation	Argonaktivierung
arsenic	Arsen
assembly	Anordnung
astatine	Astatin
asymmetric fission	unsymmetrische Spaltung
atomic battery	Atombatterie
atomic bomb	Atombombe
atomic bond	Atombindung
atomic constant	atomare Konstante
atomic energy	Atomenergie, Kernenergie
atomic energy commission	Atomenergiekommission
atomic energy plant	Atomkraftwerk

atomic energy storage battery	Atombatterie
atomic explosion	Atombombenexplosion
atomic fusion	Atomverschmelzung
atomic grating	Atomgitter
atomic industry	Atomindustrie
atomic lattice	Atomgitter
atomic mass	Atomgewicht, bezogen auf O^{16} (physikal. Skala), Atommasse
atomic mass conversion factor	Umrechnungsfaktor für awu in amu, chemische in physikalische Skala und umgekehrt
atomic mass unit (amu)	(atomare) Masseneinheit der physikal. Skala
atomic mass number	Massenzahl
atomic model	Atommodell
atomic moment	Atommoment
atomic nucleus	Atomkern
atomic number	Ordnungszahl
atomic power	Atomenergie, Atomkernenergie
atomic power station	Atomkraftwerk
atomic radius	Atomradius
atomic theory	Atomtheorie
atomic structure	Atombau
atomic units	atomare Einheiten
atomic volume	Atomvolumen
atomic waste	Atomabfall
atomic weight	Atomgewicht, bezogen auf Sauerstoff mit natürlichem Isotopenverhältnis (chemische Skala)
atomic weight unit (awu)	(atomare) Masseneinheit (chem. Skala)
attenuation	Schwächung
attenuation coefficient	Schwächungskoeffizient
auction system	Auktionsschaltung
Auger effect	Auger-Effekt
augmentation distance	Extrapolationsstrecke

austenite	Austenit (Gammaeisen)
autoclave	Autoklav
autoclave test	Autoklav-, Druckwassertest
auto-ionization	Selbstionisation
automatic counter	automatischer Zähler
automatic power control	Leistungsregelung
automatic shim rod follow-up	Trimmnachfolgesteuerung
autoradiograph	Autoradiograph
autoradiography	Autoradiographie
autosome	Autosom
autunite	Uranit
available power	verfügbare Leistung
avalanche	(Elektronen)-Lawine
average cross section	mittlerer Wirkungsquerschnitt
average life	mittl. Lebensdauer
average logarithmic decrement	mittl. logarithmisches Dekrement
average mean free path	mittl. freie Weglänge
Avogadro's number	Loschmidtsche Zahl
awu (atomic weight unit)	atomare Masseneinheit der chemischen Skala
azeotrope	azeotrop
azimuthal quantum number	azimutale Quantenzahl

B

back-diffusion	Rückdiffusion
background	Untergrund, Nulleffekt
background counts	Zähl-Untergrund
background monitoring	Untergrundüberwachung
background radiation	Untergrundstrahlung
backreaction	Rückreaktion
backscatter factor	Rückstreufaktor
backscattering	Rückstreuung
backscattering error	Rückstreufehler, Unterlagefehler
backup safety device	Hilfssicherheitsvorrichtung
bad geometry	schlechte Geometrie

baffle	Leitblech
bag filtering	Sichten
bag filtration	Gasfiltration
ball of fire	Feuerball
Balmer series	Balmer Serie
band	Bande
band head	Bandenkopf
band spectrum	Bandenspektrum
band width	Bandbreite
bare	nackt
bare reactor	nackter Reaktor
barium	Barium
barium concrete	Bariumbeton
barn, b	barn
barrier	Schwelle
Bartlett force	Bartlett-Kraft
base surge	Basiswolke
barytes	Baryt
barytes concrete	Baryt-Beton
barytes-limonite concret	Baryt-Limonit-Beton
batch distillation	Chargendestillation, diskontinuierliche Destillation
batch process	Chargenprozeß
beam	Strahl
beam hole	Strahlenkanal
before- and -after test	Bestrahlungsversuch, bei dem die Probe vor und nach Einführung in den Reaktor vermessen wird
bellow	Ausdehnungsstück
bend test	Biegeversuch
bending strength	Biegefestigkeit
berkelium	Berkelium
Bernoulli's equation	Bernoullische Gleichung
beryl	Beryll
beryllia	Berylliumoxyd
beryllium	Beryllium
beta absorption gauge *beta gauge*	Beta-Dickenmesser
beta backscattering	β-Rückstreuung

beta counter	β-Zähler
beta decay, beta disintegration	β-Zerfall
beta disintegration energy	β-Zerfallsenergie
beta emitter	β-Strahler
beta particle	β-Teilchen
beta ray	β-Strahl
beta ray source	β-Strahlquelle
beta ray spectrometer	β-Spektrometer
beta ray spectrum	β-Spektrum
beta transformation	β-Zerfall
beta uranium	β-Uran
betatron	Elektronenschleuder
Bethe cycle	Bethe-Weizsäcker-Zyklus
bevatron	Bevatron
befocal tube	Doppelfokusröhre
billion electron volt, Bev	Milliarde Elektronenvolt, od. Gigaelektronenvolt (GeV) $=10^9$ eV (Unterschied im Zahlensystem)
binary scaler	Binär-Untersetzer
binding energy	Bindungsenergie
nuclear binding energy	Kernbindungsenergie
biological damage	biologische Strahlenschädigung
biological half-life	biologische Halbwertzeit
biological hole	Strahlungskanal für biol. Objekte im Reaktor
biological shield	biologischer Schild
biological waste treatment	Belebtschlammverfahren
biophysics	Biophysik
biscuit	Bisquit
bismuth (Bi)	Wismuth
black	schwarz, strahlenabsorbierend
blanket	Brutzone, (Brut-) Mantel
blanket separation plant	Trennanlage für Brutstoff
blast scaling laws	Gesetze der Expansionswelle

blast wave	Expansionswelle
blister	Blase
Bloch bands syn. f. energy bands	Energiebänder
blood count	Blutzellenzahl
blood picture	Blutbild
blower	Gebläse
blue brittleness	Blutsprödigkeit
blur	Bewegungsunschärfe
body-centred cubic	kubisch raumzentriert
Bohr magneton, electronic Bohr magneton	Bohrsches Magneton;
nuclear Bohr magn.	Kernmagneton
Bohr model	Bohrsches Atommodell
Bohr orbit	Bohrsche Bahn
Bohr radius	Bohrscher Radius
Bohr's frequency condition	Bohrsche Frequenzbedingung
Bohr theory	Bohrsche Theorie
Bohr-Wheeler theory	Bohr-Wheelersche Theorie
boiler	Kessel
boiling	Sieden
boiling point	Siedepunkt
boiling reactor	Wasserkocher
boiling water reactor	Siedewasserreaktor
Boltzmann constant	Boltzmannsche Konstante
Boltzmann equation	Boltzmannsche Stoßgleichung
bomb core	Bombenkern
bomb debris	Bombentrümmer
bombard	beschießen, (mit einer materiellen Strahlung) bestrahlen
bombardment damage	Beschußschäden
bond	Bindung
bonding electron	Valenzelektron
bond strength	Bindungsenergie
bone marrow	Knochenmark
bone seeker	Knochensucher
boral	Boral
boraxal	Boraxal
Born approximation	Bornsche Näherung

borocalcite	Borcalzit
boron (B)	Bor
boron chamber	Borkammer, Bortrifluoridkammer
boron counter tube	Borzählohr, Bortrifluoridzählrohr, Neutronenzählrohr
boron equivalent	Boräquivalent
boron frits	Borfritt
boron frits-barytes concrete	Borfritt-Baryt-Beton
boron trifluoride	Bortrifluorid
Bose-Einstein statistics	Bose-Einstein-Statistik
boson	Boson
bottoms	Bodensatz
bound level	stationäres Niveau
bound water	Kristallwasser
boundary condition	Grenzbedingung
boundary layer	Grenzschicht
Bourdon spiral, Bourdon gauge	Bourdon-Manometer
Bragg angle	Bragg-Winkel, Glanzwinkel
Bragg curve	Braggsche Kurve
Bragg-Gray principle	Bragg-Gray-Prinzip
Bragg law	Braggsches Gesetz
Bragg rule	Braggsche Regel über das Bremsvermögen von Teilchen
Bragg spectrometer	Kristallspektrometer
branch	Zweig, kernphysikalisch insbes. in einer radioaktiven Zerfallsreihe
branching	radioaktive Verzweigung
branching decay	dualer Zerfall
branching ratio	Verzweigungsverhältnis
brass	Messing
brazing	Hartlöten
break-down of the cooling system	Kühlungsausfall
break-down potential	Durchschlagspotential
break frequency	Grenzfrequenz

break point, break-through	Adsorptionsschwelle, Durchbruch
breakage, chromosome	Chromosomenbruch
breathing ferment	Atmungsferment
breeder	Brüter
breeding blanket	Brutmantel
breeding gain	Brutgewinn
breeding ratio=conversion ratio	Brutfaktor, besser Konversionsgrad
Breit-Wigner formula	Breit-Wigner-Formel
Breit-Wigner peak	Breit-Wigner-Maximum
bremsspectrum	Bremsspektrum
bremsstrahlung	Bremsstrahlung
brevium	Uran X_2=Protactinium 234
brick	Ziegel(stein), Brikett
Brinell hardness	Brinellhärte
de Broglie relation	de Broglie-Beziehung
de Broglie wave	Materie-Welle
de Broglie wave length	die Broglie-Wellenlänge
bromine	Brom
bronze	Bronze
BTP-process	Bromtrifluorid-Prozeß
Btu (British thermal unit)	Wärmeeinheit außerhalb des Dezimalsystems =252 cal
bubble cap	Bodenglocke
bubble cap plate	Glockenboden
bubble chamber	Blasenkammer
bubble gauge	Bläschen-Gasometer
bubble plate	Glockenboden
buckling	Flußwölbung
geometric buckling	geometrische Flußwölbung
material buckling *buckling material*	stoffl., materiell bestimmte Flußwölbung
buckling vector	Flußwölbungsvektor
build-in reactivity	Überschußreaktivität
build-up	1. Zuwachs, 2. Aufbau
build-up factor	Zuwachsfaktor
bulk boiling	Blasenverdampfung

bulk temperature	mittlere Temperatur, bezogen auf Wärme-Massenstrom
bulk test	Schirmprüfung
burial ground, graveyard	Abfallager
burn-out	Durchbrennen
burn-up	Abbrand
burst	(Schauer), außergewöhnlicher Stromstoß in einer Ionisationskammer
bus	Sammler, Sammelschiene
by-pass	Nebenleitung
by-product	Nebenprodukt

C

cadmium	Kadmium
cadmium cut-off	Kadmium-Grenze
cadmium ratio	Kadmium-Verhältnis
cage effect	Käfigeffekt
calcination	Kalzinierung
calcium	Kalzium
calcium age	Kalzium-Alter
calibration factor variation	Eichfaktoränderung
californium	Kalifornium
calorie, calory	Kalorie
calorific power, value	Heizkraft
calutron	Kalutron
can	Hülle, Hülse
can material	Hülsenmaterial
can rupture	Hülsenschaden
can rupture detection	Hülsenüberwachung
canal	Kanal (im Sinne eines Abwasserkanals)
cancer	Krebs
canning	Einhülsen, Hülse
canyon	Betonkammer, Betontunnel, Lagerkammer
capacity	Kapazität, Leistungsvermögen

capture	Einfang
radiative capture	Strahlungseinfang
capture cross section	Einfangsquerschnitt
capture efficiency	Einfangsbeute
capture gamma radiation	γ-Strahlung aus Einfangprozeß
carbid slagging	Karbid-Ausschlackung
carbon (C)	Kohlenstoff
carbon cycle	Kohlenstoffzyklus
carbon dioxide	Kohlendioxyd
carcinogenesis	Krebsentstehung, Karzinogenese
carcinogenic	karzinogen, krebserzeugend
carcinoma	Karzinom
carnotite	Karnotit
carrier	Träger
carrier compound	Trägerverbindung
carrier-free	trägerfrei
cartridge	Brennstoffhülse
cascade	Kaskade
cascade generator	Kaskadengenerator
cascade shower	Kaskadenschauer
cascade theory	Kaskadentheorie
casket, syn. f. coffin	Transportbehälter
cassiopeium	Cassiopeium
cast iron	Gußeisen
casting skin	Gußhaut
catalyst	Katalysator
catalyst bed	Katalysatorbett
cataphoresis	Kataphorese
cataract	Linsentrübung, Katarakt des Auges
cavity	Hohlraum, Lunker
cavity radiation	Hohlraumstrahlung
cavity resonator	Hohlraumresonator
cell	Zelle
cell population	Zellpopulation
cement	Zement
cemented metal carbid	Hartmetall
center of inertia	Massenmittelpunkt
center of mass	Schwerpunkt

center-of-mass system	Schwerpunktsystem
central force	Zentralkraft
centrifugation	Zentrifugierung
centrifuge	Zentrifuge
centrifuging operation	Zentrifugieren
ceramet	Metallkeramik
ceramic fuel	keramischer Brennstoff
ceramic reactor	Reaktor mit keramischen Brennstoff- u. Moderatorelementen
Cerenkov counter	Tscherenkow-Zähler
Cerenkov radiation	Tscherenkow-Strahlung
cerium	Cer
cesium	Cäsium
chain	Kette (Zerfalls-Reihe)
chain decay, chain disintegration (syn. f. series decay, series desintegration)	Kettenzerfall, Kettenumwandlung
chain fission yield	Ausbeute an Spaltprodukten
chain reaction	Kettenreaktion
chamber	Kammer
chance coincidence	Zufallskoinzidenz
channel	Kanal (im Sinne einer Durchführung), Strahlenkanal
channeling	Kanaleffekt
channeling effect factor	Kanalfaktor
characteristic radiation	charakteristische Strahlung
charcoal filter	Aktivkohlefilter
charge	1. Ladung (elektrische, nukleare), 2. Beschikkung (eines Reaktors mit Brennstoff)
charge independence	Ladungsunabhängigkeit
charge invariance	Ladungsinvarianz
charger-reader	Lade- und Meßgerät (für Taschenionisationskammern)
charge transfer	Ladungsübergang

charging system	Beschickungssystem
Charpy test	Charpysche Pendelschlagprobe
chelat	Chelat, metallorganische Verbindung
chelating action	Chelatbildung
chemical age	Alter auf Grund chem. Methoden, chem. Alter
chemical binding effect	Einfluß der chem. Bindung
chemical engineer	Chemie-Ingenieur
chemical engineering	chem. Technik, Verfahrenstechnik
chemical plant	chem. Fabrik
chemical reprocessing	chem. Aufarbeitung
chemical separation	chem. Trennung
chemical technology	chem. Technologie
chemical tracer	chem. Indikator
chemical waste	chem. Abfall
chlorine	Chlor
chlorophyll	Chlorophyll
chlortrifluorination	Chlortrifluorid-Prozeß
choc	Stoß
chopper	Chopper
chromatid	Chromatid
chromatid break	Chromatid-Bruch
chromatin	Chromatin
chromium	Chrom
chromosome	Chromosom
chromosome aberration	Chromosomenschaden
chromosome break, chromosome breakage	Chromosomenbruch
chromosome deficiency	Chromosomenstückausfall (Verlust eines Chromosomenendstückes)
chromosome deletion	Chromosomenstückausfall (allgemein)
chromosome exchange	Chromosomenaustausch
chromosome inversion	chromosomale Inversion
chromosome translocation	Chromosom-Translokation (Stückverlagerung)
chronic exposure	Dauerbestrahlung

chronotron	Chronotron (Impulstechnik)
chrysoberyl	Chrysoberyll (Mineral $BeO \cdot Al_2O_3$)
circuit	Kreislauf, Strom
circuit survey	Kreislaufüberwachung
circulating reactor=circulating fuel reactor	Reaktor mit zirkulierendem Brennstoff
circulating pump	Umwälzungspumpe
citric acid	Zitronensäure
clad	Überzug, Plattierung
cladding	plattieren, überziehen von Brennstoffelementen), Plattierung
clean bomb	saubere Bombe
clean reactor	jungfräulicher Reaktor
clearing field	Reinigungsfeld (Nebelkammer)
cleveit	Cleveit
clipper, clipping circuit	Begrenzerkreis
clipping time	Zeitkonstante des Begrenzerkreises
close packed structure	Kugelpackung
closed circuit system	geschlossener Kreislauf
closed cycle	geschlossener Kreislauf
cloud chamber	Nebelkammer
cloud column	Rauchsäule
Clusius column	Clusius-Trennrohr
cluster	Haufen, Nest, Ionennest
coarse control	Grobsteuerung
coarse control rod	Grobregelstab
coat	einhüllen
cobalt	Kobalt
Cockroft-Walton accelerator	Cockroft-Walton-Generator
cocoon	Abziehfarbe (zur Vermeidung von Oberflächenverseuchung)
co-current flow	Parallelstrom
coffin	Transportbehälter
coherent scattering	kohärente Streuung
coincidence	Koinzidenz

true coincidence	echte Koinzidenz
accidental, chance or random coincidence	zufällige Koinzidenz
delayed coincidence	verzögerte Koinzidenz
coincidence circuit	Koinzidenzkreis
coincidence system	Koinzidenzschaltung
cold area	nicht-radioaktiver Bereich, kaltes Gebiet
cold forming	Kaltverformung
cold pressing	Kaltpressen
cold reactivity	Kaltreaktivität
cold reactor	Reaktor, der noch nicht in Betrieb war; jungfräulicher Reaktor
cold shot	Kaltschweißstelle, Kaltschweißung
cold welding	Kaltschweißung
colemanite	Colemanit
colemanite barytes concrete	Colemanit-Baryt-Beton
collateral chain, collateral family, collateral series	zugehörige Zerfallsreihe
collector	Kollektor
collimator	Kollimator
collimated beam	ausgeblendetes Strahlenbündel
collision	Stoß
elastic collision	elastischer Stoß
inelastic collision	unelastischer Stoß
collision cross section	Stoßquerschnitt
collision density	Stoßdichte, Stoßzahldichte
collision excitation	Stoßanregung
collision integral	Stoßintegral
collision ionization	Stoßionisation
collision number	Stoßzahl
collision of the first kind	Stoß erster Art
collision of the second kind	Stoß zweiter Art
color dosimeter	Farbdosimeter
colorimeter	Kolorimeter

columbium	Niob
column	Säule
thermal column	thermische Säule
Clusius column	Clusiussches Trennrohr
columnar ionization	Kolonnenionisation
combustion	Verbrennung
combustion heat	Verbrennungswärme
commutative	kommutativ
compact	Preßling
comparator	Differenzverstärker
compensated ion chamber	kompensierte Ionisationskammer
complex decay	komplexer Zerfall
compound	Verbindung
compound nucleus	Verbundkern, Zwischenkern
compression test	Stauchversuch
Compton effect, Compton shift	Compton-Effekt
Compton electron	Compton-Elektron
Compton spectrometer	Compton-Spektrometer
Compton wave length	Compton-Wellenlänge
computer	Rechenmaschine
concentrate	Konzentrat
concentrated nuclear fuel	angereicherter Brennstoff
concentration effect	strahlungsbiologischer Konzentrationseffekt
concentration shimming	Konzentrationstrimmung
concrete	Beton
concurrent centrifuge	Durchlauf-Zentrifuge
condensation	Kondensation
condensation cloud	Kondenswolke
condenser	Kondensator
condenser r-meter, condenser ionization chamber	Kondensator-Kammer
conductance	Leitwert
conduction	Leitung, Wärmeleitung
conduction band	Leitungsband
conduction level	Leitfähigkeitsband
cone of radiation	Strahlenkegel

configuration control	Steuerung eines Reaktors durch Veränderung der Anordnung der Brennstoffstäbe
conjugated	konjugiert
conjugate layers	konjugierte Schichten
conjugate variables	konjugierte Variable
conservation law	Erhaltungssatz
constitution diagram	Phasendiagramm
contact corrosion	Kontaktkorrosion
contact potential device	Kontaktpotentialelement
contact radiation therapy	Nahbestrahlungstherapie
containment vessel	Sicherheitsbehälter
contaminated	1. vergiftet, 2. verseucht, kontaminiert
contamination, radioactive	radioaktive Verseuchung, Kontamination
continuity equation	Kontinuitätsgleichung
continuous	kontinuierlich
continuous casting	Strangguß
continuous distribution	kontinuierliche Verteilung
continuous irradiation process	kontinuierlicher Reaktorbetrieb
continuous slowing down model	Modell der kontinuierlichen Bremsung
control	Steuerung, Regelung
control console, control desk	Steuerpult, Bedienungspult
control device	Regelvorrichtung
control element	Regelelement
control element reactivity change	eingeprägte Steuerreaktivität
control handle	Steuergriff (Fernbedienungsgerät)
control loop	Regelkreis
control mechanism	Steuereinrichtung
control object	Regelstrecke
control panel	Schaltbrett
control point	Kontrollpunkt, Meßstelle, Regelpunkt
control program	Programmsteuerung
control range	Steuerhub

control rod	Regelstab, Absorberstab
control rod drive	Regelstabantrieb
control rod efficiency function	Steuerkennlinie
control room	Schaltraum, Schaltwarte
control system	Steuersystem
controlled area	Überwachungsbereich
controlled nuclear reaction	gesteuerte Kernreaktion
controlled variable	Regelgröße
controller	Regler
convection	Konvektion
convection diffusion	konvektive Diffusion
conversion	Umwandlung, Konversion
internal conversion	innere Umwandlung
conversion electron	Konversionselektron
conversion gain	Brutgewinn, Konversionsgewinn
conversion ratio, conversion coefficient	Konversionsgrad
converter	Konverter
convolution theorem	Faltungssatz
coolant	Kühlmittel
coolant activity	Kühlmittelaktivität
coolant circuit	Kühlmittelkreislauf
coolant flow	Kühlmitteldurchsatz
coolant make-up	Kühlmittelaufbereitung
cooling	Kühlung
cooling column cooling tower	Kühlturm
coordination number	Koordinationszahl
copper	Kupfer
copper sulfide	Kupfersulfid
coprecipitation	Mitfällung
coracite	Corazit
core	Spaltraum, Spaltzone
core circuit	Wärmekreislauf durch die Spaltzone
core tank	Reaktorgefäß
coring	Kornseigerung
corona	Koronaentladung
corpuscle	Teilchen

corpuscular radiation	Korpuskularstrahlung
corpuscular stream	Teilchenstrahl
correspondence principle	Korrespondenzprinzip
corrosion	Korrosion
coseparation	Trennung mit Trägersubstanz, Mitfällung
cosine surface source	Cosinusquelle
cosmic rays	kosmische Strahlen
cosmic ray shower	großer Luftschauer, Schauer
cosmotron	Kosmotron
Coulomb barrier	Coulombwall
Coulomb field	Coulombfeld
Coulomb force	Coulomb-Kraft
Coulomb potential	Coulomb-Potential
count	Impuls, Zählstoß
red count	Zahl der roten Blutkörperchen
total white count	Gesamtzahl der weißen Blutkörperchen
differential white count	differentielles weißes Blutbild
counter	Zähler, Zählrohr
counter-controlled cloud chamber	zählrohrgesteuerte Nebelkammer
counter-current centrifuge	Gegenstromzentrifuge
counter current distillation	Gegenstromdestillatoren
counter-current electrolysis	Gegenstromelektrolyse
counter-current flow	Gegenstrom
counter efficiency	Zählrohransprechvermögen
counter plateau	Zählrohrplateau, Auslösbereich
counter range	Zählrohrbereich
counter telescope	Zählrohrteleskop
counter tube	Zählrohr
counterflow	Gegenstrom
counting ionization chamber	Ionisationskammer zur Impulszählung

counting loss	Zählverlust
counting rate	Zählrate (Impuls/sec)
counting-rate meter	Mittelwertsmesser, Integrator
counting rate-voltage characteristic	Impuls-Spannungs-Charakteristik
counts per minute	Zählrate
coupling	Kopplung
coupling constant	Kopplungskonstante
creep	Kriechen
creep rate	Kriechgeschwindigkeit
creep strength depending on time	Zeitstandsfestigkeit
creep test	Standversuch
crit	kritische Masse (ohne Reflektor)
critical	kritisch
delayed critical	verzögert-kritisch
prompt critical	prompt-kritisch
critical assembly	kritische Anordnung
critical condition	kritische Bedingung
critical equation	kritische Gleichung
critical experiment	kritisches Experiment
critical mass	kritische Masse
critical organ	kritisches Organ
critical size	kritische Größe
criticality	Kritikalität
cross section	Wirkungsquerschnitt
total cross section	totaler Wirkungsquerschnitt
differential cross section	differentieller W.Q.
macroscopic cross section	makroskopischer W.Q.,
stopping cross section	Bremsquerschnitt
crossing over	Faktoren-Austausch
crude	roh, unrein
crushing	Zerkleinerung
crystal counter	Kristallzähler
crystal effects	Kristalleffekte
crystal lattice	Kristallgitter
crystal oscillations	Kristallschwingungen

crystal spectrometer	Kristallspektrometer
crystalline structure	Kristallstruktur
crystallite	Kristallit
crystallization	Kristallisieren
crystallization sheme	Kristallisationsschema
cubic	kubisch
cubic body centered	kubisch raumzentriert
cubic close packed	kubisch dicht gepackt
cubic face centered	kubisch flächenzentriert
cupping	Tiefziehen
cupping test	Tiefungsversuch, Tiefungsprüfung
curie	Curie
curium, Cm	Curium
current	Strom, Stromstärke
current density	Stromdichte
curtain	wörtlich: Vorhang, bei Versuchen am Reaktor eine Folie aus Kadmium zwecks Abschirmung thermischer Neutronen, Neutronenfänger
cutting metal	Hartmetall
cyclohexanone	Zyklohexanon
cyclone	Windsichter
cyclotron	Zyklotron
cyclotron frequency	Zyklotronfrequenz
cysteine	Cystein (Aminosäure)
cytoplasm	Zytoplasma

D

damage	Schaden
damp	Dämpfung
damping constant	Dämpfungskonstante
danger coefficient	Vergiftungsfaktor
daughter	Zerfallsprodukt
daughter atom	Folgeatom
dead time	Totzeit
debris	Trümmer
decade scaler	Dekadenzähler

decaline	Dekalin
decarboxylating	Decarboxylieren
decay	Zerfall
decay analysis	Abfallanalyse
decay chain, family	Zerfallsreihe
decay constant	Zerfallskonstante
decay curve	Zerfallskurve
decay electron	Zerfallselektron
decay law, radioactive	radioaktives Zerfallsgesetz
decay path	Zerfallsweg
decay product	Zerfallsprodukt
decay series	Zerfallsreihe
decay time	Zerfallszeit
decelerate	abbremsen, verzögern
decomposition of water	Wasserzersetzung
decontamination	1. Entgiftung, 2. Entseuchung
decontamination factor	Entseuchungsgrad
decontamination index	Dekontaminationsindex
decontamination substance	Dekontaminationsmittel
dee	Dee, D-Elektrode (Zyklotron)
deep drawing	Tiefziehen
defect electron	Defektelektron
deficiency of chromosome	Chromosomenstückausfall
deflection	Ablenkung
deflector	Deflektor
deformation bands	Deformationsbänder
degenerate gas	entartetes Gas
degenerate state	entarteter Zustand
degradation, syn. f. moderation	Bremsung, Energieverlust (von diffundierenden Neutronen)
degree	Grad, Maß, Ordnung
degree of freedom	Freiheitsgrad
delay	Verzögerung
delay time	Verzögerungszeit
delayed coincidence	verzögerte Koinzidenz
delayed-critical	verzögert-kritisch

delayed neutron	verzögertes Neutron
delayed neutron emitter	Mutterkern der verzögerten Neutronen
deletion of chromosome	Chromosomenstückausfall
delta-function	Delta-Funktion
delta-operator	Delta-Operator
delta-ray	Delta-Strahl
demand power	Solleistung
dematerialization	Dematerialisation
demineraliser	Entsalzer
denaturant	Denaturierungsmittel
denaturate	denaturieren (von spaltbarer Substanz)
denaturation	Denaturierung
dendrite	Dendrit
densimetry	Dichtebestimmung
densitometer	Densitometer
density	Dichte
dephlegmation	Dephlegmation, Teilkondensation
depleted material	verarmtes, abgebranntes Material
depletion	Erschöpfung
deposit	Lagerstätte
deposition	Ablagerung, Abscheidung
electrolytic deposition	elektrolytische Abscheidung
depth dose	Tiefendosis
derby	Regulus
descendant	Tochterelement, Abkömmling
design	Entwurf, Konstruktion
desired value	Sollwert
desorption	Desorption
detector	Detektor
deuterium	Deuterium, schwerer Wasserstoff
deuterium moderated pile	Schwerwasserreaktor
deuteron	Deuteron
deuteron induced fission	Spaltung durch Deuteronen

deviation	Abweichung
deviation curve	Eichkurve
device	Vorrichtung
diagonal element	Diagonalelement
diagonal matrix	Diagonalmatrix
diagrid	Gitterrost
diamond structure	Diamandstruktur
dichlordiethylether	Dichlordiäthyläther
diethylether	Diäthyläther
difference amplifier	Differenzverstärker
difference number	Neutronenüberschuß im Atomkern
differential cross section	differentieller Wirkungsquerschnitt
differential ionization chamber	Kompensationskammer
diffraction	Beugung
diffraction grating	Beugungsgitter
diffuse radiation	Streustrahlung
diffusion	Diffusion
thermal diffusion	Thermodiffusion
eddy diffusion	Diffusion überlagert von Turbulenzvorgängen
diffusion approximation	Diffusionsnäherung
diffusion barrier	poröse Wand
diffusion cascade	(Diffusions-) Kaskade
diffusion coefficient	Diffusionskoeffizient
diffusion constant	Diffusionskonstante
diffusion equation	Diffusionsgleichung
diffusion kernel	Diffusionskern
diffusion length	Diffusionslänge
diffusion mean free path	freie mittl. Diffusionsweglänge
diffusion theory	Diffusionstheorie
diffusion time	Diffusionszeit
diffusivity	Diffusionsvermögen
digestion	Aufschließung
digital computer	Digitalrechenmaschine
dilution analysis	Verdünnungsanalyse
dimensional analysis	Dimensionsanalyse, Ähnlichkeitsgesetz der Wärmeübertragung

dimensionless ratios	dimensionslose Kennzahlen
dingot	Regulus
DIN-sensitivity	DIN-Empfindlichkeit
dip counter	Tauchzähler
di-phenyl	Diphenyl
diplet	Dublett
diploid	diploid, zweifach
dipole	Dipol
Dirac h	Planckscher Wirkungsquantum/2 π
directional focussing	Richtungsfokussierung
dirty bomb	schmutzige Bombe
disadvantage factor	Absenkungsgrad
discharge	Entladung
discharge cutting	Lichtbogen-Schneidverfahren
discomposition	Zersetzung, Umlagerung
discriminator	Diskriminator
disintegration, syn. f. decay	Zerfall
nuclear disintegration	Kernzerfall
disintegration chain, -family, -series	Zerfallsreihe
disintegration constant	Zerfallskonstante
disintegration energy	Zerfallsenergie
disintegration law	Zerfallsgesetz
disintegration rate	Umwandlungsrate, Zerfallsgeschwindigkeit
dislocation	Versetzung
edge dislocation	Stufenversetzung
screw dislocation	Schraubenversetzung
dislocation line	Versetzungsgrenze
dismantle	auseinandernehmen
dispersion	Dispersion
displacement	Verschiebung
displacement law	Verschiebungsgesetz
disruptive voltage	Durchschlagsspannung
dissipation	Zerstreuung
dissociation	Dissoziation
dissolution	Auflösung
dissolver vessel	Auflösungsbehälter

dissolving	Lösen
distance effect	Abstandseffekt ($1/r^2$-Gesetz)
distillate	Destillat
distillation	Destillation
distillation colum, distillation tower	Destillierkolonne, -turm
distortion	Störung, Verformung
distribution coefficient	Verteilungskoeffizient
distribution ratio	Verteilungsverhältnis, Konzentrationsverhältnis
divergence	Divergenz
dominant	dominant, vorherrschend
donut, syn, f. doughnut	Flußumwandler
Doppler broadening	Doppler-Verbreiterung
Doppler shift	Doppler-Verschiebung
dose, dosage	Dosis
air dose	Luftdosis
cumulative dose	Gesamtdosis
depth dose	Tiefendosis
exit dose	Austrittdosis
integral volume dose	gesamte Volumdosis
median lethal dose	mittlere Letaldosis (LD_{50})
percentage depth dose	prozentuale Tiefen-Dosis
permissible dose	zulässige Dosis
skin dose	Hautdosis
tissue dose	Gewebedosis
tolerance dose	Toleranzdosis
dose build-up factor	Dosiszuwachsfaktor
dose constant	Dosiskonstante
dose-effect curve	Dosis-Wirkungskurve
dose fractionation	Dosisfraktionierung, Fraktionierung
dose meter, dosimeter	Dosimeter
integrating dose meter	integrierendes Dosimeter
dose protraction	Dosisprotrahierung
dose rate, dosage rate	Dosisleistung
dose rate meter	Dosisleistungsmesser
dose threshold	Schwellenwertsdosis
dosimetry	Dosimetrie
double-beta decay	doppelter β-Zerfall

double focussing	Doppelfokussierung
double ionization chamber	Doppelionisationskammer
double lattice	Doppelgitter
double pulse generator	Doppelimpulsgenerator
doublet method	Dublettmethode
doubling time	Verdopplungszeit
doughnut, donut	Flußumwandler
down time	Abschaltzeit, Stillstandzeit
drawing	Ziehen
dressing	Aufbereitung
drift	Drift
drift velocity	Driftgeschwindigkeit
drop forging	Gesenkschmieden
drop model of nucleus	Tröpfchenmodell des Atomkerns
drum	Kesseltrommel
dry box	Handschuhkasten, Schutzkammer
dry deposition	nicht-aktiver Niederschlag
dual purpose reactor	Zweizweckreaktor
dual temperature process	Zweitemperaturprozeß
dualism	Dualismus
duct	Kanal, Durchführung
duct valve	Leitungsventil
dump	Schnellablaß
dump condenser	Überschußkondensator
dump valve	Überschußventil
duplet	Dublett
dysprosium	Dysprosium

E

e-folding time	Ver-e-fachungszeit
economiser	Vorwärmer
eddy diffusion	Diffusion, überlagert von Turbulenz
edema	Ödem
edge-cracking (in rolling)	Einreißen der Kanten (beim Walzen)

edge cracks	Randrisse
edge dislocation	Stufenversetzung
EDTA (ethylenediamino-tetraacedacid)	Äthylendiaminotetra-essigsäure
effect	Effekt, Wirkung
effect of radiation	Strahlenwirkung
efficiency	Wirksamkeit, Wirkungs-grad
efficiency law for x-rays	Wirkungsgesetz
effluent	Ausströmung
eigenfunction	Eigenfunktion
eigenvalue	Eigenwert
Einstein equation	Einsteinsche Gleichung
einsteinium	Einsteinium
elasticity	Elastizität
elastic range	Elastizitätsgebiet
electrodeposition	elektrolytische Abschei-dung
electrolytic plating	Galvanisieren, elektrol. Metallabscheidung
electrolytic polishing	elektrolytisches Polieren
electrometer	Elektrometer
electrometer tube	Elektrometerröhre
electromigration	Ionenwanderung
electron	Elektron
electron avalanche	Elektronenlawine
electron beam	Elektronenstrahl
electron capture	Elektroneneinfang,
electron charge	Elektronenladung
electron diffraction	Elektronenbeugung
electron gas	Elektronengas
electron gun	Elektronenkanone
electron impact	Elektronenstoß
electron interference	Elektroneninterferenz
electron magnetic mo-ment	magn. Moment des Elek-trons
electron mass	Elektronenmasse
electron microscope	Elektronenmikroskop
electron multipler tube	Multiplier-Röhre, Elek-tronenvervielfacher
electron orbit	Elektronenbahn
electron pair	Elektronenpaar

electron radius	Elektronenradius
electron sensitive	elektronenempfindlich
electron shell	Elektronenschale
electron spin	Elektronenspin
electron trajectory	Elektronenbahn
electron transfer	Elektronenübergang
electron transition	Elektronensprung
electron trapping	Elektroneneinfang
electron volt, ev	Elektronenvolt, eV
electron wave	Elektronenwellen
electronic charge	Elementarladung
electronic cloud	Elektronenhüllen
electronic computer	elektronische Rechenmaschine
electronic impact	Elektronenstoß
electronic shell	Elektronenschale
electronics	Elektronik
electrophoresis	Elektrophorese
electroplating	Galvanisieren
electroscope	Elektroskop
electrostatic generator	elektrostatischer Generator, Bandgenerator
electrostatic lens	elektrostatische Linse
element	Element
elementary cell	Elementarzelle
elementary charge	Elementarladung
elementary particle	Elementarteilchen
elementary process	Elementarprozeß
elution	Elution
elutriation	1. Schaum-Spülverfahren, Auswaschung, 2. Eluierung von Ionenaustauschern
emanating power	Emaniervermögen
emanation	Emanation
embrittlement	Versprödung
emergency cooling	Notkühlung
emergency shut-down	Notabschaltung
emitting electron	Leuchtelektron
emitting nucleon	Leuchtnukleon
emulsion tracks	Photoschichtspuren
encapsulate	einkapseln

encapsulated fuel element	eingehülstes Brennstoff-element
encapsulated source	geschlossene Quelle
enclosure	abgeschlossener Raum
end window counter tube	Glockenzählrohr
endoergic, syn. f. endothermic	endotherm
endosteum	Endost
endothelium	Endothelium
endothermic	endotherm
endurance limit	Dauerfestigkeit
endurance ratio	Ermüdungsverhältnis
endurance test	Dauerversuch
energy balance	Energiesatz
energy band	Energieband
energy build-up factor	Energiezuwachsfaktor
energy density	Energiedichte
energy dependence	Energieabhängigkeit
energy distribution	Energieverteilung
energy equivalence	Energieäquivalent
energy level	Energieniveau
energy losses	Energieverluste
energy-range relation	Energie-Reichweite-Beziehung
energy quantum	Energiequant
energy spectrum	Energiespektrum
energy transfer	Energieübertragung
energy unit	Energieeinheit
enhancement	Anreicherung
enriched material	angereichertes Material
enriched reactor	angereicherter Reaktor
enrichment	Anreicherung
enrichment factor	Anreicherungsgrad
entrainment	Mitschleppen, Mitführung
epicadmium	Epikadmium
epicadmium neutrons	Epikadmium-Neutronen
epicentre	Epizentrum
epilation	Epilation
epilation dose	Epilationsdosis
epiphysis	Epiphyse
epithelioma	Epithelzellengeschwulst
epithelium	Epithel

epithermal	epithermisch
epithermal reactor	epithermischer Reaktor
equation of state	Zustandsgleichung
equilibrium	Gleichgewicht
equilibrium concentration	Gleichgewichtskonzentration
equilibrium constant	Gleichgewichtskonstante
equilibrium diagram	Zustandsdiagramm
equilibrium orbit	Gleichgewichtsbahn, stabile Bahn in einem Teilchenbeschleuniger
equilibrium time	Gleichgewichtszeit
equivalent diameter	gleichwertiger Durchmesser
equivalent roentgen	Röntgenäquivalent
equivalent stopping power	Bremsäquivalent
erbium	Erbium
Erichsen cupping test	Erichsen-Tiefung
error	Fehler
error function	Gaußsche Fehlerfunktion
error integral	Gaußsches Fehlerintegral
error signal	Regelabweichung
erythema	Erythem, entzündliche Hautrötung
erythrocyte	rotes Blutkörperchen
esu (electrostatic unit)	el.stat. cgs
etching	Ätzen
etiology	Ätiologie
europium	Europium
eutectic	eutektisch
eutectic composition	Eutektikum
euxenit	Euxenit
evaporation	Verdampfung, Eindampfen
evaporative centrifuge	Zentrifugenverdampfer, Verdampfungszentrifuge
even-even nucleus	gerade-gerade-Kern (g-g-Kern)
even-odd nucleus	gerade-ungerade-Kern

excess multiplication factor	Überschußfaktor, Überschußvermehrung
excess reactivity	Überschußreaktivität
exchange	Austausch
exchange force	Austauschkraft
exchange operator	Austauschoperator
exchange reaction	Austauschreaktion
exchanger	Probenwechsler
excitation	Anregung
excitation curve	Anregungskurve
excitation energy	Anregungsenergie
excitation function	Anregungsfunktion
excitation voltage	Anregungsspannung
exclusion principle	Ausschließungsprinzip
exit dose	Austrittsdosis
exothermic, exoergic	exotherm
expansion chamber	Nebelkammer
expansion joint	Ausdehnungsstück, Kompensator
expansion vessel	Ausdehnungsgefäß
experimental facilities	Experimentiereinrichtung
exponential absorption	exponentieller Abfall
exponential (pile) experiment	Exponentialexperiment, Exponentialreaktor
exposure	Bestrahlung
acute exposure	kurzdauernde Bestrahlung
chronic exposure	längerdauernde Bestrahlung
exposure calculator	Expositionsrechenschieber
exposure chart	Belichtungstabelle
exposure factor	Expositionsfaktor
exposure meter	Belichtungsmesser
extensive shower,	großer Luftschauer
extract layer	Extraktionsschicht
extractant	Extraktionsmittel
extraction	Extraktion
extraction column	Extraktionskolonne
extraction process	Extraktionsprozeß
extraction tower	Extraktionsturm
extractor	Extraktor

extractive distillation	Extraktionsdestillation
extrapolated boundary	extrapolierte Grenze
extrapolated range	extrapolierte Reichweite
extrapolation distance	Extrapolationsstrecke
extrapolation ionization chamber	Extrapolationskammer
extrapolation length	Extrapolationsstrecke
extrusion	Strangpressen

F

face-centered, cubic	kubisch flächenzentriert
fall-out, radioactive	radioaktiver Niederschlag
Fankuchen cut	Fankuchen-Anschnitt
Fanno lines	Fannosche Kurven
fast breeder	schneller Brüter
fast effect	Einfluß schneller Spaltungen
fast fission	schnelle Spaltung
fast fission factor	Schnellspaltfaktor
fast neutron range	Bereich der schnellen Neutronen
fast reactor	schneller Reaktor
fatigue	Ermüdung
fatigue corrosion	Ermüdungskorrosion
fatigue limit	Dauerfestigkeit
fatigue limit under completely reversed stress	Wechselfestigkeit
fatigue strength	Dauerfestigkeit
fatigue test	Dauerversuch
Feather analysis	Feather-Analyse
Feather rule	Gesetz von Feather
feed	Brennstoff, Spaltstoff, wäßrige Primärlösung
feedback	(Brennstoff-)Rückführung
Fermi age	Fermi-Alter
Fermi gas	Fermi-Gas
Fermi-Dirac statistics	Fermi-Dirac-Statistik
Fermi plot	Fermi-Diagramm
Fermi theory	Fermi-Theorie
fermion	Fermion
fermium, Fm	Fermium

ferrite	Ferrit, α-Eisen
fertile	wörtlich: fruchtbar, bei Reaktormaterialien: brütbar
fertile material	Brutstoff
fertilization	Befruchtung, Fruchtbarmachen
Feynman's method	Feynmansche Methode
fiberglass filter	Fiberglasfilter
Fick's law	Ficksches Gesetz
field emission	Feldemission
film	Film
film badge	Filmdosimeter, Filmplakette
film coefficient (US), syn. f. coeff. of heat transfer (GB)	Filmkoeffizient, Wärmeübergangszahl
film ring	Filmring
filter	Filter
additional filter	Vor- oder Zusatzfilter
primary filter	Primärfilter
secondary filter	Sekundärfilter
filter aid	Filtereinrichtung
filter cake	Filterrückstand
filter medium	Filtermaterial
filtrate	Filtrat
filtration	Filtrierung, Filtration
fine control	Feinregelung
fine control mechanism	Regelorgane
fine control rod	Regelstab, Feinregler
fine structure	Feinstruktur
fine-structure constant	Feinstrukturkonstante
fining of grain	Kornfeinung
fins	Rippen
fireball	Feuerball
first collision correction	Erststoß-Korrektur
fissile, syn. f. fissionable	spaltbar
fission	Spaltung, Kernspaltung
spontaneous fission	spontane Spaltung
ternary fission	Dreierspaltung
fission capture	Spalteinfang
fission chamber	Spaltkammer

fission counter	Spaltungszähler
fission cross section	Spaltquerschnitt
fission energy	Spaltenergie
fission fragment	Kernbruchstück, Spaltprodukt
fission gamma radiation	Spaltgammastrahlung
fission neutrons	Spaltneutronen
prompt fission neutrons	prompte Spaltneutronen
delayed fission neutrons	verzögerte Spaltneutronen
fission plasma reactor	Plasmaspaltungsreaktor
fission poison	Reaktorgift
fission probability	Spaltwahrscheinlichkeit
fission product	Spaltprodukt
fission product poisoning	Spaltproduktvergiftung
fission reactor	Spaltungsreaktor
fission recoil (nucleus)	Rückstoßkern bei der Spaltung
fission spectrum	Spaltspektrum
fission threshold	Spaltschwelle
fission yield	Spaltausbeute
fissionable	spaltbar
fissium	Fissium
flash burn	Strahlungsbrandwunde
flash radiography	Blitzaufnahme
flash spectrum	Funkenspektrum
flash tank	Reduziergefäß
flattening, flux flattening	(Fluß-) Glätten
flip-flop (circuit)	Flip-Flop-Schaltung
flooding	Fluten (des Reaktors)
flotation	Flotieren
flow counter	Gasdurchflußzähler
flow instability	Strömungsinstabilität
flow sheet, flow chart	Fließbild
flow-through centrifuge	Durchflußzentrifuge
fluidized reactor	Reaktor mit quasi-flüssigem Spaltstoff
fluophotometer	Fluophotometer
fluorescence	Fluoreszenz
fluorescence yield	Fluoreszenzwert, Leuchtkraft
fluorescent screen	Fluoreszenzschirm

fluorination	Fluorierung
fluorine	Fluor
fluorography	Bildschirm-Fotografie
fluoroscope	Bildschirm
fluoroscopy	Durchleuchtung
flux	1. Fluß (Reaktortheorie) 2. Flußmittel (Metallkunde)
flux converter	Flußumwandler, Flußkonverter
flux-time	Zeitintegral des Flusses, Flußzeit
focal spot	Brennfleck
focusing	fokussierend, Fokussierung
foil	Folie
forbidden transition	verbotener Übergang
form factor	Formfaktor
forming property	Verformbarkeit
forward scattering	Vorwärtsstreuung
four-factor formula	Vierfaktorformel, Vermehrungsfaktor k_∞
four π counter	4 π-Zähler
four velocity	Vierergeschwindigkeit
Fourier integral	Fourier-Integral
Fourier-No	Fourier-Zahl
Fourier series	Fourier-Reihe
Fourier transform	Fourier-Transformierte
Fourier transformation	Fourier-Transformation
fraction exchange	Austauschquotient
fractional abundance	relative Häufigkeit
fractional distillation	fraktionierte Destillation
fractional yield	Ausbeute je Stufe
fractionating column, tower	Fraktionierkolonne, Rektifiziersäule, -kolonne
fractionation	Fraktionierung
frame of reference	Bezugssystem
francium	Francium
free air ionization chamber	offene Luftionisationskammer
free molecule diffusion	Knudsenströmung
freeze drying	Gefriertrocknung

freeze-out	Ausfrieren
Frenkel defect	Frenkel-Defekt
frequency code system	Frequenzkodesystem
frequency modulation	Frequenzmodulation
fretting corrosion	Fressen
Fricke dosimeter	Fricke-Dosimeter
friction factor	Widerstandsziffer
Froude-No	Froude-Zahl
fuel	1. Brennstoff, Spaltstoff (nuklear) 2. Brennstoff (fossiler)
fuel assembly	Brennstoffanordnung, Brennstoffkassette
fuel channel	Brennstoffkanal, Kühlkanal
fuel charge	Brennstoffeinsatz
fuel cycle	Brennstoffzyklus
fuel consumption	Brennstoffverbrauch
fuel damage	Brennstoffschäden
fuel element	Brennstoffelement
fuel exchange	Brennstoffauswechslung
fuel inventory	Brennstoffausstattung
fuel life-time	Brennstofflebensdauer
fuel make-up	Brennstoffauffrischung
fuel poisoning	Brennstoffvergiftung
fuel regeneration, reprocessing	Brennstoffaufarbeitung
fuel rod	Brennstoffstab
fuel utilisation	Spaltstoffausnutzung
fume hood	Abzug
fundamental particle	Elementarteilchen
fusion	1. Fusion, Verschmelzung, 2. Schmelzen, Schmelzung
fusion heat	Schmelzwärme
fusion reaction	Fusionsreaktion
fusion reactor	Fusionsreaktor

G

gadolinium	Gadolinium
gage	Lehre, Meßgerät
galena	Galenit

galling	Fressen
gallium	Gallium
gamete	Keimzelle
gamma emitter	Gammastrahler
gamma heating	Aufheizung durch γ-Strahlen
gamma-(radiation)meter	Gammameter
gamma-n-ratio	Gamma-N-Verhältnis
gamma phone	Gammaphon
gamma quantum	Gammaquant
gamma ray	Gamma-Strahl
gamma-ray source	Gammastrahlenquelle
gamma-ray source container	Gammabombe
gamma-ray spectrometer	γ-Strahl-Spektrometer
gamma space	Gammaraum
gamma spectroscopy	Gammaspektroskopie
gamma spectrum	Gammaspektrum
gamma transformation	Gammazerfall
gamma uranium	Gamma-Uran
Gamow's theory	Gamow-Theorie
Gamow wall, barrier	Gamow-Berg
gap	Lücke
gas amplification	Gasverstärkung
gas centrifuge	Gaszentrifuge
gas chromatography	Gaschromatographie
gas cooled	gasgekühlt
gas counter	Gaszähler
gas-flow counter	Gasdurchflußzähler
gas scrubbing	Gasberieselung, Gaswaschung, Gaswäsche
gas-tight	gasdicht
gas turbine reactor	Gasturbinenreaktor
gate	Zugang, Tor
gauge	Lehre, Meßgerät
Gauss function	Gaußsche Fehlerfunktion
Gaussian kernel	Gaußscher Integralkern
Gaussian well	Gauß-Potential
Geiger counter	Geiger-Zähler
Geiger-Muller counter tube	Geiger-Müller (G.-M.)-Zählrohr
Geiger-Nutall relation	Geiger-Nutall-Beziehung

Geiger region	Auslösebereich
Geiger threshold	Geiger-Schwelle, Einsatzspannung
gene	Gen, Erbmerkmal
general-purpose manipulator	Universalmanipulator
generation time	Generationsdauer
genetic effect of radiation	genetische Strahlenwirkung
geometric buckling	geometrische Flußwölbung
geometry factor	Geometriefaktor
geometry transformation	Geometrietransformation
germ cells	Keimzelle
germanium	Germanium
getting circuit	Getting-Schaltung
g-factor	g-Faktor
giant air shower	großer Luftschauer
gold	Gold
gonad	Keimdrüse, Gonaden
van de Graaff generator	van de Graaff-Generator
graded irradiation history	Bestrahlungsgeschichte
grading	Klassifizierung
Graetz-No	Graetz-Zahl
grain	Korn, Kristallit
grain boundary	Korngrenze
grain structure	Gefüge
gram atome	Grammatom
gram molecule	Grammolekül
gram rad	Grammrad
gram roentgen	Gramm-Röntgen
granulocyte	Granulozyt
granulopenia	Granulopenie
graphite	Graphit
graphite-moderated reactor	graphitmoderierter Reaktor
graphite pebbles	Graphitkugeln
Grashof number	Grashof-Zahl
graveyard	Friedhof, Abfallagerstätte
gravity segregation	Schwereseigerung
Green's function	Greensche Funktion
grenz rays	Grenzstrahlung

grinding	Zerkleinern, Mahlen
gross output	Bruttoleistung
ground level	Grundterm
ground state	Grundzustand
ground state disintegration energy	Zerfallsenergie, die zum Grundzustand des Folgekerns (-atoms) führt
ground term	Grundzustand
ground zero	Hypozentrum
group constants	Gruppenkonstanten
group-diffusion method	Gruppendiffusionsmethode
group-diffusion slowing down kernel	Bremskern für eine Neutronengruppe
growth curve	Nachbildungskurve
growth of cristal	Kornwachstum, Kristallwachstum
guard electrode	Schutzelektrode
guard ring	Hilfselektrode
guarded field ionization chamber	Faßkammer
guide field	Führungsfeld
gun metal	Rotguß
G-value	G-Wert
gyromagnetic ratio	gyromagnetisches Verhältnis

H

Häffner effect	Häffnereffekt
haematologic state	Differential-Blutbild
haemorrhagic diathesis	Diathese, hämorrhagische
hafnium	Hafnium
half-life	Halbwertszeit
half-thickness	Halbwertsschicht, Halbwertsdicke
half-time of exchange	Halbwertszeit des Austausches
half-value layer	Halbwertsschicht
half width	Halbwertsbreite
halogen counter	Halogenzähler
hand automatic switch	Hand-Automatikschalter

H and D sensitivitv	H- und D-Empfindlichkeit
haploid	haploid
hardening	Härtung
hardness	Härte
health hazards	Gesundheitsgefährdung
health physics	Strahlenschutz
heat balance	Wärmebilanz
heat capacity	Wärmekapazität
heat conductivity	Wärmeleitung
heat conduction	Wärmeleitfähigkeit
heat exchange	Wärmeaustausch
heat exchanger	Wärmeaustauscher
heat flush	Wärmestoß
heat flux	Wärmefluß
heat generation	Wärmeerzeugung
heat output	Wärmeleistung
heat peak	örtliche Wärmequellen-spitze
heat release	Wärmefreisetzung
heat transfer	Wärmeübergang, Wärme-übertragung
heat-transfer coefficient	Wärmeübergangszahl
heat treatment	Wärmebehandlung
heat velocity	Heizflächenbelastung
heavy (aggregate) concrete	Schwerbeton
heavy aggregate shield	Schild aus Schwerbeton
heavy hydrogen, syn. f. deuterium	Schwerer Wasserstoff
heavy water	Schweres Wasser
heavy water reactor	Schwerwasserreaktor
heel	Rückstand, Rest
Heisenberg force	Heisenberg-Kraft
helium age	Heliumalter
helium leak detection	Helium-Leckprüfung
helium nucleus	Heliumkern
helvite	Helvit
hematite	Hämatit
hemoglobin	Hämoglobin
hemopoesis	Blutbildung
heterogeneous reactor	heterogener Reaktor

heteropolar	heteropolar
heterozygosity	Heterozygotie
heterozygous	heterozygot, verschiedenartig
HETS, HETP (hight equivalent to a theoretical stage or plate)	Bodenwert
hexagonal	hexagonal
hexagonal close-packed	hexagonal-dichteste Kugelpackung
high-flux reactor	Reaktor hohen Flusses
high-pressure cloud chamber	Hochdrucknebelkammer
high-speed centrifuge	Ultrazentrifuge
high-speed steel	Schnellstahl, Schnellarbeitsstahl
high temperature reactor	Hochtemperatur-Reaktor
high temperature strength	Warmfestigkeit
high vacuum melting	Hochvakuumschmelzen
higher chain products	künstl. Transurane, die beim Reaktorbetrieb entstehen, schwere Isotope
hit theory	Treffertheorie
hold-back agent, hold-back carrier	Rückhalteträger
hold-up	Verriegelung
holmium	Holmium
homogeneous reactor	homogener Reaktor
homozygous	homozygot, gleichartig
homozygosity	Homozygotie
hot	heiß, hochgradig radioaktiv
hot atom	hoch angeregtes Atom
hot atom chemistry	heiße Chemie
hot cave, hot cell	heiße Zelle
hot channel	Kühlkanal
hot channel effect	Kanalüberhitzung
hot critical reactor	heißkritischer Reaktor
hot forming	Warmformung
hot laboratory	heißes Labor

hot-pressing	Heißpressen, Drucksintern
hot spot	Spitzenlastpunkt
hot working	Warmformung
HTU (height of a transfer unit)	Rückflußverhältnis
Hume-Rothery phase	Hume-Rothery-Phase
hydrochlone	Hydroklone
hydrochlorination	Hydrochlorination
hydrogen (H)	Wasserstoff
hydrogen atom	Wasserstoffatom
hydrogen bomb	Wasserstoffbombe
hydrogen peroxide	Wasserstoffperoxyd
hydrogen radius	Wasserstoffradius
hydrogenous	wasserstoffhaltig
hydroxylion	Hydroxylion
hydroxyl radical	Hydroxylradikal
hyperfine structure	Hyperfeinstruktur
hyperon	Hyperon
hypersorption	Hypersorption
hypocenter	Hypozentrum

I

ideal simple process factor	theoretischer Trennfaktor einer Stufe
ilmenite	Ilmenit
image reactor	Bildreaktor
impact	Stoß
impact bending strength	Schlagbiegezähigkeit
impact cross section	Stoßquerschnitt
impact parameter	Stoßparameter
impact strength	Kerbschlagzähigkeit
implant	Einlage, Implantation
implantation	Implantation
importance	Einfluß
importance function	Einflußfunktion
impulse generator	Impulsgenerator
impurities	Verunreinigungen
incident particle	einfallendes Teilchen
inclusion	Einschluß

incoherent scattering	inkohärente Streuung
incompressible flow	inkompressible Flüssigkeit
incorporation	Inkorporation
independent (individual) particle model of nucleus	Einteilchenmodell des Atomkerns
indeterminancy principle	Unbestimmtheitsrelation
indicator	Indikator
indium, In	Indium
individual dose meter	Individualdosimetrie
induced nuclear disintegration	induzierter, künstlicher Kernzerfall
induced radioactivity	induzierte, künstliche Radioaktivität
induction accelerator	Betatron
inert gas, syn. f. noble gas	Edelgas
inertial force	Trägheitskraft
inertial mass	träge Masse
infinite multiplication constant	Vermehrungsfehler der unendl. ausgedehnten Anordnung
infinitely thick	unendlich dick
infinitely thin	unendlich dünn
ingenieur chimiste	Verfahrensingenieur
ingot	Ingot
inherent	inhärent
inhour	inverse Stunde, reziproke Stunde
initial creep	Anfangskriechen
in-pile test	Versuch im Inneren des Reaktors
input	Eingang
input function	Steuerverlauf
input signal	Stellgröße
insensitive time	Zeit der Unempfindlichkeit
instrumentation	Meßeinrichtungen, Instrumentierung
integral	Integral
integral dose	Integraldosis
integral equation	Integralgleichung

integral kernels	Integralkerne
integrating circuit	Integrierschaltung
integrating dose meter	integrierender Dosismesser
integrating ionization chamber	integrierende Ionisationskammer
integrator	Integrator
intensifying screen	Verstärkerfolie
intensitometer	Dosisleistungsmesser
intensity	Intensität
intensity meter	Intensitätsmesser
interaction	Wechselwirkung
interchange	Austausch
interlock	Verriegelung, Verblockung
intermediate circuit	Zwischenkreis
intermediate neutrons	mittelschnelle Neutronen
intermediate phase	intermediäre Phase
intermediate reactor	mittelschneller Reaktor
intermetallic compound	intermetallische Verbindung
internal absorption coefficient	Selbstabsorptionskoeffizient
internal absorption half thickness	Selbstabsorptions-Halbwertsdicke
internal conversion	innere Umwandlung
internal conversion coefficient	Grad (Anteil) der inneren Umwandlung
internal friction	innere Reibung, Viskosität
internal stress	Eigenspannung
interstitial site	Zwischengitterplatz
interstitial solid solution	Einlagerungsmischkristall
intestine	Darm
intrinsic	inner(lich); wirklich, wahr
intrinsic angular momentum, syn. f. spin	Eigendrehimpuls, Spin
inventory	Gesamtmenge, Gesamtzahl
neutron inventory	Gesamtzahl der Neutronen (z. B. in einem Reaktor)

fissionable material inventory	Gesamtmenge der spaltbaren Substanz
inverse hour	reziproke Stunde
inverse square law	Abstandsgesetz, quadratisches
iodine J	Jod
ion	Ion
ion beam scanning	(massenspektrom.) Ionenstrahlanalyse
ion bond	Ionenbindung
ion current	Ionisationsstrom
ion density	Ionendichte
ion exchange	Ionenaustausch
ion grating	Ionengitter
ion hose	Ionenschlauch
ion mobility	Ionenbeweglichkeit
ion migration	Ionenwanderung
ion pair	Ionenpaar
ion pair yield	Paarausbeute
ion source	Ionenquelle
ion yield	Ionenausbeute
ionic radius	Ionenradius
ionium	Ionium
ionization	Ionisation, Ionisierung
ionization chamber	Ionisationskammer
air-wall ionization chamber	Luftwändekammer
extrapolation ionization chamber	Extrapolationskammer
free air, open-air ionization chamber	offene Luftionisationskammer
integrating ionization chamber	integrierende Ionisationskammer
tissue equivalent ionization chamber	gewebeäquivalente Ionisationskammer
ionization counter	Ionisationszähler
ionization cross section	Ionisierungsquerschnitt
ionization current	Ionisationsstrom
ionization density	Ionisationsdichte
ionization energy	Ionisationsenergie
ionization function	Ionisierungsfunktion

ionization kernel	Ionisationskern
ionization path (track)	Ionisationsspur
ionization potential	Ionisationspotential
ionization stopping	Ionisationsbremsung
ionization strength	Ionisierungsgrad
ionization tension	Ionisierungsspannung
ionizing energy	Ionisierungsenergie
ionizing event	Ionisierungsakt
iontophoresis	Iontophorese
iridium Ir	Iridium
iron	Eisen
iron Portland cement	Eisen-Portland-Zement
iron Portland concrete	Eisen-Portland-Beton
irradiation	Bestrahlung
irradiation can	Bestrahlungsbehälter
irradiation time	Bestrahlungszeit
irradiation unit	Bestrahlungseinheit
irreversible process	irreversibler Prozeß
isobar	isobar
isobaric laws	Isobarensätze
isobaric space, syn. f. isotopic space	isotoper Spinraum
isodiaphere	Kern mit gleicher Differenz zwischen Neutronen- und Protonenzahl, z. B $^{144}_{90}Th^{234}$ u. $^{146}_{72}U^{238}$
isodose chart	Isodosentafel
isodose curves	Isodosenkurven
isomer	Isomer
isomer separation	Isomerentrennung
isomeric transition	isomerer Übergang
isomerism, nuclear	Isomerie, Kernisomerie
isomorphism	Isomorphie
isomorphous, isostructural	isomorph
isotone	Isoton
isotope	Isotop
isotope chart	Isotopentafel
isotope dilution analysis	Isotopenverdünnungsanalyse
isotope effect	Isotopieeffekt
isotope rule	Isotopenregel

isotope separation	Isotopentrennung
isotope shift	Isotopenverschiebung
isotope sluice	Isotopenschleuse
isotopic abundance	Isotopenhäufigkeit
isotopic dilution	Isotopenverdünnung
isotopic exchange	Isotopenaustausch
isotopic number, syn. f. neutron excess	Neutronenüberschuß
isotopic ratio	Isotopenverhältnis
isotopic space	isotoper Raum, isotoper Spinraum
isotopic spin	isotoper Spin
isotopic spin quantum number	isotope Spinquantenzahl
isotopic tracer	isotopischer Träger
isotopic variable	isotope Variable
isotron	Isotron
isotropic	isotrop
iterated fission expectation (probability)	iterierte (asymptotische) Spalterwartung
iteration method	Iterationsverfahren
Izod test	Izod-Kerbschlagprobe

J

jack-leg	Überlauf
jacket	Überzug, Plattierung
jet pump	Strahlpumpe
j-j coupling	j-j-Kopplung

K

von Karman-No	von Karman-Zahl
K-capture, K-electron capture	K-Einfang, K-Elektronen-Einfang
keloid	Keloid
kernel	Kern, Integrationskern
diffusion kernel or Yukawa kernel	Diffusionskern
slowing-down kernel	Bremskern
kev (kilo electron-volts)	keV
kick sorter, syn. f. pulse height analyzer	Impulshöhenanalysator

Klein-Nishina formula	Klein-Nishina-Formel
knocked-on atom	Anstoßatom, angestoßenes Atom, Rückstoßatom
Knoop hardness	Knoop-Härte
Knudsen effect	Knudsen-Effekt
Knudsen flow	Knudsen-Strömung
krypton	Krypton
kryptoscope	Kryptoskop

L

labeled atom	Leitisotop
labeled compound	radioaktiv markierte Verbindung
labeled molecule	radioaktiv markiertes Molekül
labeling	Markierung
labeling synthesis	Markierungssynthese
labile	labil
laboratory system	Laborsystem, Beobachtersystem
laminar boundary layer	laminare Grenzschicht
laminar flow	laminare Strömung
lanthanide contraction	Lanthanidenkontraktion
lanthanides	Lanthaniden (seltene Erden)
lanthanum, La	Lanthan
Laplace transformation	Laplace-Transformation
laplacian	1. Δ-Operator, 2. syn. f. *buckling*
Larmor precession	Larmorpräzession
last collision correction	Letztstoßkorrektur
latent period	Latenzzeit
latent tissue injury	latente Gewebeschädigung
lattice	Gitter, Kristallgitter
lattice calculation	Gitterberechnung
lattice cell	Gitterzelle
lattice constant	Gitterkonstante
lattice distortion	Gitterfehlstelle
lattice parameter (lattice spacing)	Gitterparameter, -konstante

Lauritsen electroscope	Lauritsen-Elektroskop
Laves phase	Laves-Phase
L-capture	L-Einfang
LD, lethal dose	Letaldosis, tödliche Dosis
LD 50 dose	Halbwertsdosis, mittl. tödl. Dosis, LD_{50}
LD 50 time	Halbwertszeit, mittl. Überlebenszeit
leaching	Auslaugen, Laugung
lead	Blei
lead age	Bleialter
lead brick	Bleiziegel
lead castle	Meßkammer
lead equivalent	Bleiäquivalent, Bleigleichgewicht
lead-rubber apron	Bleischürze
lead rubber gloves	Schutzhandschuhe
lead screen	Bleischirm
leakage	1. Sickerstrahlung, 2. Neutronenverlust, Neutronenausfluß
leakage probability	Sickerwahrscheinlichkeit
leakage radiation	Sickerstrahlung
leakage spectrum	Ausflußspektrum
leak detector	Lecksucher
ledeburit	Ledeburit
L-electron capture	L-Elektronen-Einfang, L-Einfang
leptons	Leptonen
LET (linear energy transfer)	Energieabgabe je Längeneinheit
lethal dose	Letaldosis
lethal mutation	Letal-Mutation
lethargy	Lethargie
leucocyte	Leukozyt
leucocytosis	Leukozytose, Leukozytenanstieg
leukemia, leucaemia	Leukämie
leukopenia	Leukopenie
level width	Niveaubreite
partial width	partielle Niveaubreite
total level width	totale Niveaubreite

life, lifetime	Lebensdauer
average life, mean life	mittlere Lebensdauer
lime-stone	Kalkstein
limit switch	Grenzschalter
limonite	Limonit
Lindemann electrometer	Lindemann-Elektrometer
line	Linie, Spektrallinie
line breadth	Linienbreite
line broadening	Linienverbreiterung
line focus	Strichfokus
line intensity	Linienintensität
line spectrum	Linienspektrum
line width	Linienbreite, Halbwertsbreite
linear accelerator	Linearbeschleuniger
linear amplifier	Linearverstärker
lingering period	Verweilzeit
liquid-drop model	Tröpfchenmodell
liquid-liquid extraction	flüssig-flüssig-Extraktion
liquid-metal cooling	Flüssigmetallkühlung
liquidus temperature	Liquidustemperatur
lithium	Lithium
liver	Leber
LMTD (logarithmic mean temperature difference)	logarithmischer Mittelwert der Temperaturunterschiede
loading machine	Lademaschine
loading point	Belastungsgrenze
local couple	Lokalelement
local dose	Ortsdosis
local element	Lokalelement
localized corrosion	Lochfraß
log N recorder	logarithmischerLeistungsschreiber
logarithmic amplifier	logarithmischer Verstärker
logarithmic energy decrement	mittlerer logarithmischer Energieverlust pro Stoß
long-range alpha-particles	α-Teilchen großer Reichweite
longtime behavior	Langzeitverhalten
loop	Kreislauf

Loschmidt number	Avogadrosche Zahl
loss-coefficient	Verlust-Faktor
low-flux reactor	Reaktor mit niedrigem Neutronenfluß
low-pressure cloud chamber	Unterdrucknebelkammer
low-temperature reactor	Reaktor mit niedriger Betriebstemperatur
L-S coupling	L-S-Kopplung
lucite	Plexiglas
luminescence	Lumineszenz
lumnite	Lumnite
lumnite colemanit concrete	Lumnit-Colemanit-Beton
lumnite-Portland-colemanit concrete	Lumnit-Portland-Colemanit-Beton
lutetium, Lu	Cassiopeium, Lutetium
lymph	Lymphe
lymph node	Lymphknoten
lymphocyte	Lymphozyt, weißes Blutkörperchen
lymphopenia	Lymphopenie, Verminderung der Lymphozyten

M

Mache unit	Mache-Einheit
macroscopic cross section	makroskopischer Wirkungsquerschnitt
macroscopic reactor theory	makroskopische Reaktortheorie
magic numbers	magische Zahlen (im Kernbau)
magnesium, Mg	Magnesium
magnetic amplifier	Magnetverstärker
magnetic lens	magnetische Linse
magnetic moment	magnetisches Moment
magnetic rigidity	magnetische Steifigkeit
magneton	Magneton
main quantum number	Hauptquantenzahl
Majorana force	Majorana-Kraft

malignant tumor	bösartiger Tumor, Geschwulst
malleable iron	Temperguß
Malter effect	Malter-Effekt
manganese	Mangan
manipulator	Manipulator
manometry	Manometrie
manuel start-up	Handstart
many-body forces	Mehrkörperkräfte
many group model	Vielgruppenmodell
martensite	Martensit
mass absorption coefficient	Massenabsorptionskoeffizient
mass conversion factor	Umrechnungsfaktor (*awu* in *amu*)
mass defect	Massendefekt
mass-energy equivalent	Masse-Energie-Äquivalent
mass-energy relation	Masse-Energie-Beziehung
mass filter	Massenfilter
mass flow	Gewichtsdurchsatz
mass flow rate	Mengenflußdichte
mass formula	Massenformel
mass miniature radiography	Schirmbildverfahren
mass number	Massenzahl
mass range	Reichweite (eines Teilchens) in g/cm^2 = lineare Reichweite $\times$ Dichte
mass scale	Massenskala
mass separation	Zerlegung einer kritischen Masse in Teilmassen
mass spectrograph	Massenspektrograph
mass spectrometer	Massenspektrometer
mass spectrum	Massenspektrum
mass stopping power	Massenbremsvermögen
mass synchrometer	Massensynchrometer
mass transfer	Stoffaustausch
mass transfer coefficient	Stoffaustauschzahl
mass unit	(atomare) Masseneinheit

mass velocity	Mengenflußdichte
material buckling	materiell, stofflich bestimmte Flußwölbung
material economy	Materialausnutzung
material inventory	materielle Ausstattung z. B. eines Reaktors insbes. mit spaltbarer Substanz u. Moderator
materials testing reactor	Materialprüfreaktor
materialization	Materialisation
matrix	Matrix
matrix element	Matrixelement
maximum permissible body burden	höchstzulässige Körperbelastung
maximum permissible concentration	maximal zulässige Konzentration
maximum permissible dose (exposure)	Toleranzdosis
Maxwell-Boltzmann distribution	Maxwell-Boltzmann-Verteilung
Maxwell distribution	Maxwell-Verteilung
Maze counter	Maze-Zähler
mc-day	Millicurie-Tag
mean free path	mittlere freie Weglänge
mean life	mittlere Lebensdauer
mean liquid temperature	mittlere Flüssigkeitstemperatur
mean range	mittlere Reichweite
mean temperature difference, MTD	mittl. Temperaturunterschied
mean value meter	Mittelwertmesser
measuring channel	Meßkanal
mechanical register	mechanisches Zählwerk
median lethal dose, MLD	mittlere tödliche Dosis
median lethal time, MLT	mittlere Absterbezeit
mega-electron volts syn. f. million electron volts	10^6 eV, MeV
meiosis	Meiosis
memory	Speicher (Rechenmaschine)
mendelevium	Mendelevium
mercury	Quecksilber

meson	Meson
meson atom	Mesonatom
meson component	Mesonenkomponente
meson field	Kernfeld, Mesonfeld
meson theory of nuclear forces	Mesonentheorie der Kernkräfte
mesonic charge	Nukleonenladung
mesothorium	Mesothorium
message register	Zählwerk, Registriergerät
metabolism	Stoffwechsel, Umsatz
metal-ceramic, syn. f. cermet	Metallkeramik, Cermet
metal hydrides	Metall-Hydride
metal hydrogen shield	Metall-Wasser-Schild
metal inventory	Ausstattung, Bestückung
metallic bond	metallische Bindung
metalloid	Metalloid
metallography	Metallkunde, Metallographie
metallurgy, physical	Metallkunde
metallurgy, process	Metallurgie
metaphase	Metaphase
metastable	metastabil
metastasis	Metastase, Tochtergeschwulst
mev (million electron-volts)	MeV
microanalysis, microchemical analysis	(chemische) Mikroanalyse
microchemistry	Mikrochemie
microcurie, mc	Mikrocurie
microscopic cross section	mikroskopischer Wirkungsquerschnitt
microwave spectrum	Mikrowellen-Spektrum
migration area	Wanderfläche
migration length	Wanderlänge
millicurie, mc	Millicurie
millicurie-hour	Millicurie-Stunde
Milligoat counter	isotropes Zählrohr, Milligoat-Zähler
Milligoat detector	richtungsunabhängiger Zähler

millimass unit, mmu	tausendstel Masseneinheit, TME od. MME
milling	Brechen
million electron-volts, mev	Million Elektronvolt, MeV
milliroentgen, mr	Milliröntgen
Milne's problem	Milnesches Problem
minimum ionization	Minimumionisation
mirror nuclei	Spiegelkerne
mirror nuclides	Spiegelnuklide
mitosis	Mitose, Zellkernteilung
mixing	Mischen, homogenisieren
mixing coup temperatur	mittlere Temperatur, bezogen auf Wärmemassenstrom
mixing efficiency	Homogenisierungsausbeute
mixer-settler	Mixer-Settler
MLD (mean lethal dose)	mittl. tödl. Dosis
MLT (mean lethal time)	mittl. Absterbens (Überlebens) zeit
mmu (millimass unit)	MME (Tausendstel Masseneinheit)
mobility	Beweglichkeit
MO-concrete	MO-Beton
moderating ratio	Bremsverhältnis
moderation, syn. f. slowing down	Bremsung, Neutronenbremsung
moderator	Moderator, Bremsmittel
moderator control	Moderatorkontrolle
moderator-fuel ratio	Moderator-Brennstoff-Verhältnis
moderator heat	Moderatorwärme
moderator level shimming	Moderatorspiegel-Trimmung
modulation	Modulation
modulus of elasticity	Elastizitätsmodul
modulus of rigidity	Elastizitätsmodul
modulus of rupture	Bruchmodul
mole	Mol
mole fraction	Molenbruch
molecular beam	Molekülstrahl

molecular distillation	Molekulardestillation
molecular lattice	Molekülgitter
molecular mass	Molekülmasse
molecular reaction	Molekülreaktion
molecular stopping power	molekulares Bremsvermögen
molecular volume	Molvolumen
molecular weight	Molekulargewicht
molecule	Molekül
molten salt extraction	Salzschmelzfluß-Extraktion
molten salt reactor	Salzschmelzen-Reaktor
molybdenum	Molybdän
moment of inertia	Trägheitsmoment
momentum	Impuls, Bewegungsgröße
momentum distribution	Impulsverteilung
monazite	Monazit, Monazitsand
monel metal	Monel
monitor	Monitor, Warngerät, Überwachungsgerät
monitor fan	Monitorgebläse
monitor ionization chamber	Ionisationskammer als Monitor
monitoring	Überwachung
area monitoring	Gebietsüberwachung
personal monitoring	Personenüberwachung
monochromatic	monochromatisch
monocline	monoklin
Monte-Carlo method	Monte-Carlo-Methode
Moseley's law	Moseleysches Gesetz
Mott scattering formula	Mottsche Streuformel
movement blur	Bewegungsunschärfe
MPA (maximal permissible amount)	maximal zulässige Menge
MPC (maximal permissible concentration)	maximal zulässige Konzentration
MTD (mean temperature difference)	mittlerer Temperaturunterschied
mu meson	μ-Meson
mucosa	Mucosa, Schleimhaut
multi-group model	Mehrgruppenmodell
multi-group theory	Mehrgruppentheorie

multi-region reactor	Mehrzonenreaktor
multiple effect evaporator	Gegenstromverdampfer
multiple scattering	Vielfachstreuung
multiplet	Multiplett
multiplication	Vermehrung
multiplication constant	Vermehrungsfaktor
multipole moment	Multipolmoment
multipole radiation	Multipolstrahlung
multistage process	mehrstufiges Verfahren
multivibrator circuit	Multivibratorschaltung
muon (syn. f. μ-Meson)	Myon
mutant	Mutante, biologische
mutation	Mutation
gene mutation	Genmutation
lethal mutation	Letalmutation
mutual interaction	gegenseitige Wechselwirkung
MW-days	Megawatt-Tage, MW-Tage

N

NaK alloy	Na-K-Legierung
natural uranium reactor	Natururanreaktor
necking down	Einschnürung
necrosis	Nekrose
needle counter	Spitzenzähler
negative reactor	negativer Reaktor
negatron	(negatives) Elektron
neodymium	Neodym
neon	Neon
neoplasm	Neubildung, Geschwulstbildung, Neoplasma
neptunium	Neptunium
neptunium series	Neptunium-Reihe
net plain	Netzebene
net transport	Netto-Durchsatz
neutrino	Neutrino
neutron	Neutron
delayed neutron	verzögertes Neutron
epithermal neutron	epithermisches Neutron

fast neutron	schnelles Neutron
intermediate neutron	mittelschnelles Neutron
prompt neutron	promptes Neutron
resonance neutron	Resonanzneutron
stripped neutron	abgestreiftes Neutron
thermal neutron	thermisches Neutron
neutron absorption	Neutronenabsorption
neutron activation	Neutronenaktivierung
neutron activation analysis	Neutronenaktivierungsanalyse
neutron age	Neutronenalter
neutron balance	Neutronenbilanz
neutron beam	Neutronenstrahl
neutron binding energy	Neutronenbindungsenergie
neutron capture	Neutroneneinfang
neutron component	Neutronenkomponente
neutron counter	Neutronenzähler
neutron cycle	Generationenfolge
neutron decay	Neutronenzerfall
neutron density	Neutronendichte
neutron detection	Neutronennachweis
neutron detector	Neutronennachweisgerät
neutron diffraction	Neutronenbeugung
neutron diffusion	Neutronendiffusion
neutron economy	Neutronenökonomie
neutron emitter	Neutronenstrahler, Mutterkern
neutron energy group	Neutronengruppe
neutron escape	Neutronenausfluß, Leck
neutron excess	Neutronenüberschuß
neutron excess number	Zahl der Überschußneutronen
neutron flux	Neutronenfluß
neutron flux fine control	Neutronenflußregelung
neutron flux measuring	Neutronenflußüberwachung
neutron generator	Neutronengenerator
neutron group	Neutronengruppe
neutron hardening	Härtung des Neutronenspektrums
neutron interference	Neutroneninterferenz

neutron inventory	Gesamtzahl der Neutronen
neutron irradiation	Neutronenbestrahlung
neutron life time	Neutronenlebensdauer
neutron multiplication	Neutronenvermehrung
neutron number	Neutronenzahl im Kern
neutron physics	Neutronenphysik
neutron producer	Neutronenerzeuger, kleiner Reaktor, der als Neutronenquelle dient
neutron-proton force	Neutron-Proton-Kraft, Kernkraft
neutron rays	Neutronenstrahlen
neutron source	Neutronenquelle
neutron source strength	Neutronenquellstärke
neutron spectroscopy	Neutronenspektroskopie
neutron spectrum	Neutronenspektrum
neutron temperature	Neutronentemperatur
neutron therapy	Neutronentherapie
neutron wave length	Neutronenwellenlänge
neutron yield	Neutronenausbeute
nickel	Nickel
niobium	Niob
nitrogen	Stickstoff
noble gas	Edelgas
non-central force	nichtzentrale Kraft
non-degenerate gas	nichtentartetes Gas
non-directional detector	richtungsunabhängiger Zähler
non-leakage probabality	Leckfaktor, Verbleibwahrscheinlichkeit
non-linearity	Nichtlinearität
normalized	normiert
notch	Kerbe
notch impact strength	Kerbschlagzähigkeit
NTP (1. normal temperature and pressure, 2. number of theoretical plates)	1. unter normalen Bedingungen, 2. Zahl der theoretischen Böden
NTU (number of transfer units)	Rückflußverhältnis
nuclear	nuklear

nuclear absorption	Kerneinfang
nuclear charge	Kernladung
nuclear chemistry	Kernchemie
nuclear collision	Kernstoß
nuclear corrosion	Kernkorrosion
nuclear constants	atomare Konstanten, Kerndaten
nuclear density	Kerndichte
nuclear disintegration	Kernzerfall
nuclear distance	Kernabstand
nuclear emulsion	Kernemulsion
nuclear energy	Kernenergie
nuclear engineering	Kern(verfahrens)technik
nuclear evaporation	Kernverdampfung
nuclear excitation	Kernanregung
nuclear explosion	Kernexplosion
nuclear field	Kernfeld
nuclear fission	Kernspaltung
nuclear force	Kernkraft
nuclear fuel	Kernbrennstoff
nuclear fusion	Kernverschmelzung, Fusion
nuclear induction	Kerninduktion
nuclear instruments	nukleare Meßgeräte
nuclear isomer	Isomer
nuclear isomerism	Kernisomerie
nuclear magnetic resonance	magnetische Resonanz des Kerns
nuclear magneton	Kernmagneton
nuclear mass	Kernmasse
nuclear material	Kernmaterial
nuclear model	Kernmodell
nuclear moment	Kernmoment
nuclear movement	Kernbewegung
nuclear photo-effect	Kernphotoeffekt
nuclear physics	Kernphysik
nuclear potential	Kernpotential
nuclear power	nutzbare Kernenergie
nuclear power station	Leistungsreaktoranlage
nuclear purification	Feinreinigung
nuclear purity	Kernreinheit
nuclear radius	Kernradius

nuclear reaction	Kernreaktion
nuclear reaction formulas	Kernreaktionsformeln
nuclear reactor	Kernreaktor, Reaktor
nuclear resonance level	Kernresonanzniveau
nuclear shell model	Schalenmodell der Atomkerne
nuclear species, syn. f. nuclide	Nuklid
nuclear spectrum	Kernspektrum
nuclear spin	Kernspin
nuclear structure	Kernbau
nuclear test	Atomwaffenversuch
nuclear transmutation	Kernumwandlung
nucleation	Keimbildung
nucleic acid	Nucleinsäure
nucleogenesis	Bildung der Atomkerne in der Natur
nucleon	Nukleon, Kernbaustein
nucleon number, syn. f. mass number	Massenzahl
nucleonics	angewandte Kernphysik
nucleoprotein	Nucleoprotein
nucleus	Kern (sowohl Atomkern als auch Zellkern), Keim
nucleus, shell structure of	Schalenstruktur des Atomkerns
nuclide	Nuklid
nuclidic mass	Nuklidmasse
n-unit, N-unit	n-Einheit (Dosiseinheit)
Nusselt-No	Nußelt-Zahl

O

occupation number	Besetzungszahl
odd-even nucleus	u-g-Kern
odd-odd nucleus	u-u-Kern
oedema	Ödem
off-gas treatment	Gasreinigung
off-gases	Abgase
offset	Abweichung
omegatron	Omegatron

once-through cooling	Kühlung durch einmaligen Durchfluß des Kühlmittels
one-group model	Eingruppenmodell
one-group theory	Eingruppentheorie
one-region reactor	Einzonenreaktor
opaque	undurchlässig
open-air ionization chamber	offene Luftionisationskammer
open cycle	offener Kreislauf
operating line	Arbeitskurve
operating temperature	Betriebstemperatur
operation	Verfahren
operator	Operator
O-P-process	Oppenheimer-Phillips-Prozeß
orbit	Bahn
orbit shift coils	Ablenkspulen
orbital momentum	Bahndrehimpuls
orbital quantum number	azimutale Quantenzahl
ore	Erz
ore concentration	Erzgehalt
ore deposit	Erzlager(stätte)
ore extraction	Extraktion des Erzes
organ dose	Organdosis
organic liquids, -moderators	organische Moderatoren, -Flüssigkeiten
organic moderated reactor	organisch moderierter Reaktor
orientation	Orientierung
orificing	Drosseln
orthodiagraph	Orthodiagraph
orthogonal	orthogonal
orthogonality relation	Orthogonalitätsrelation
orthohydrogen	Orthowasserstoff
oscillation	periodische Schwankung
osmium	Osmium
output pulse	Ausgangsimpuls
output signal	Regelgröße
ovary	Ovar (Eierstock)
overall coefficient of heat transfer	Wärmedurchgangszahl

overall efficiency	Gesamtwirkungsgrad
overhead product	Destillationsprodukt
overpressure	Überdruck
overshoot	Überschlag
overvoltage	Überspannung, z. B. bei einem Zählrohr
oxalic acid	Oxalsäure
oxidation	Oxydation
oxidation potential	Oxydationspotential
oxide slagging	Oxyd-Ausschlackung
oxygen	Sauerstoff

P

pack rolling	Paketwalzen
packed column	Füllkörpersäule
packed tower	Füllkörpersäule
packing effect	Packungseffekt
packing fraction	Packungsanteil
pair annihilation	Paarvernichtung
pair production	Paarerzeugung, Paarbildung
pair-production absorption	Absorption (von γ-Strahlen) durch Paarerzeugung
panoramic exposure	Panoramaaufnahme
parahydrogen	Parawasserstoff
paraffin	Paraffin
parallel flow	Parallelstrom
parallel plate counter chamber	Plattenkondensatorkammer
parameters of state	Zustandsgrößen
parasitic capture	parasitärer Einfang, unerwünschter Neutronenverlust im Reaktor
parent	Muttersubstanz
parity	Parität
partial condensation	Teilkondensation
partial wave	Teilwelle
particle accelerator	Teilchenbeschleuniger
particle radiation	Korpuskularstrahlung

particle weight	Korngewicht
partition coefficient	Verteilungskoeffizient
path length	Weglänge
Pauli exclusion principle	Paulisches Ausschließungsprinzip
Pcu (pound centigrade unit) syn. f. Chu (centigrade heat unit)	Wärmeeinheit=454 cal
pebble-bed reactor	Kugelhaufenreaktor
pebble shield	Lunkerschild
Péclet-No	Péclet-Zahl
pencil dosimeter	bleistiftähnliches Dosimeter
pegmatite	Pegmatit
penetrability	Durchdringbarkeit
penetrating probability	Durchdringungswahrscheinlichkeit
penetrating shower	durchdringende oder harte Schauer (der kosmischen Strahlung)
penetration	Durchdringung
penetrometer	Meßanordnung zur Bestimmung der Durchdringungsfähigkeit von Strahlen, Penetrometer
penta-ether	Pentaäther
percentage depth dose	prozentuale Tiefendosis
period	1. Periode, 2. Halbwertszeit, 3. Reaktorperiode
period amplifier	Periodenverstärker
period control	Periodenüberwachung
period meter	Periodenmeter
period range	Periodenbereich
peritectic	peritektisch
peritectic composition	Peritektikum
perlite	Perlit
permanent mould	Kokille
permissible body burden	zulässige Menge von radioaktivem Material im Körper
permissible dose	zulässige Dosis
personal dose	Personendosis

personal monitor	Individualdosimeter
personnel monitoring	Personal-Überwachung
perturbation theory	Störungstheorie, Reaktorstörungsrechnung
phantom	Phantom
phase	Phase
phase diagram	Zustandsdiagramm, Phasendiagramm
phase frequency plot	Phasenfrequenzgang
phase integral	Phasenintegral
phase modulation	Phasenmodulation
phase transformation	Phasenumwandlung
phase shift	Phasenverschiebung
phase space	Phasenraum
phase space cell	Phasenraumzelle
phasotron	Phasotron
phenacite	Phenazit
phosphorescence	Phosphoreszenz
phosphorescence screen	Barium-Platinzyanür-Schirm
phosphors	Phosphore
phosphorus	Phosphor
photo effect	Photoeffekt
photo excitation	Photoanregung
photodisintegration, nuclear	Kernumwandlung durch γ-Strahlen
photoelectric absorption	Strahlungs-Absorption
photoelectric effect	lichtelektrischer Effekt
photoelectric threshold	Schwellenenergie zur Auslösung eines Photoelektrons
photoelectron	Photoelektron (ein durch Licht (γ-) Einstrahlung emittiertes Elektron)
photofission	Photospaltung
photofluorography, syn. f. fluorography	Schirmbildaufnahme
photolyse	Photolyse
photomultiplier	Photovervielfacher
photomultiplier counter (syn. f. scintillation counter)	Kristallzähler, Szintillationszähler

photomultiplier tube	Photomultiplier-Röhre, Lichtquantenvervielfacher-Röhre
photon	Lichtquant, Photon
photoneutron	Photoneutron ((γ, n)-Prozeß)
photonuclear reaction	(γ, x)-Reaktion, x kann Neutron, Proton, Deuteron, α-Teilchen sein
photoproton	Photoproton ((γ, p)-Prozeß)
photosynthesis	Photosynthese
physical mass unit, syn. f. atomic mass unit	atomare Masseneinheit (physikalische Skala)
physical metallurgy	Metallkunde
PI-controller	PI-Regler
pickle	Beize
pickling	beizen
pick-up	eine Kernreaktion, bei der das einfallende Teilchen ein Nukleon aus einem Kern aufnimmt, z. B. (p, d)-, (n, d)- und (d, t)-Prozeß
pile (syn. f. reactor)	Reaktor
pile activation	Reaktor-Aktivierung
pile factor	Pile-Faktor
pile oscillator	Reaktoroszillator
pilot plant	Versuchsanlage
pinch effect	Pincheffekt
pipe	Lunker (trichterförmig)
pitchblende	Pechblende
plain cement	Mörtel
plait point	kritischer Entmischungspunkt
Planck's constant	Plancksche Konstante
plasma	Plasma
plasma oscillation	Plasmaschwingung
plasticity	Plastizität
plate column	Bodenkolonne
plate efficiency	Bodenwirkungsgrad, Verstärkungsverhältnis

plateau	Plateau
plateau characteristic	Plateau-Kennlinie
platelet	Blutplättchen, Thrombozyt
platelet count	Thrombozytenzahl
plating	Plattierung
platinum	Platin
plug	(Abschirm)stopfen für Reaktorkanäle
plugging indicator	Plugging-Indikator
plural scattering	Mehrfachstreuung
plutonium cycle	Plutonium-Zyklus
plutonium reactor	Plutonium-Reaktor
p-n junction converter	Sperrschichtelement
pocket chamber	Taschenionisationskammer
pocket dosimeter	Taschendosimeter
point counter tube	Spitzenzählrohr
point source	Punktquelle
poison	Gift, speziell Reaktorgift
poisoning	Vergiftung
poisoning overshoot	Vergiftungsüberschlag
polarisation effect	Polarisationseffekt
polyen	Polyen (organischer Moderator)
polymerisation	Polymerisation
polynominal method	Polynom-Methode
polyphenyl	Polyphenyl
pony motor	Hilfsmotor
poor geometry	schlechte Geometrie
porous diffusion	Porendiffusion
porous reactor	Porenreaktor
position indicator	Stabstandsanzeiger
positron	Positron
positron transformation	Positronenzerfall
positronium	Positronium
potassium	Kalium
potassium detector	Kalimeßgerät
potential	Potential
potential, nuclear	Kernpotential
potential barrier	Potentialschwelle, Potentialberg

potential energy	potentielle Energie
potential theory	Potentialtheorie
potential well	Potentialberg, Potentialschwelle
powder metallurgy	Pulvermetallurgie
powder pattern	Pulverdiagramm (Debye-Scherrer)
power	Leistung, Kraft, Vermögen
power breeder	Brüter, der gleichzeitig als Leistungsreaktor dient
power coefficient	Leistungkoeffizient
power control	Leistungsregelung
power control loop	Leistungsregelkreis
power control rod	Steuerstab für das Leistungsniveau
power density	Leistungsdichte
power fluctuation	Leistungsrauschen
power level safety	Leistungswächter
power limit	Grenzleistung
power margin	Grenzleistung
power overshoot	Leistungsüberschlag
power range	Leistungsbereich
power reactor	Leistungsreaktor
power recorder	Leistungsschreiber
power response	Leistungs-Temperatur-Kopplung
power station	Leistungsreaktoranlage
Prandtl-No	Prandtl-Zahl
precipitation	Prezipitation
precipitation hardening	Aushärtung
precursor	wörtlich: Vorläufer; bei verzögerten Neutronen: Mutterkern
preformed precipitate	vorgefällter Niederschlag
pre-heater	Vorwärmer
pressure deep drawing	Fließpressen
pressure die casting	Druckguß
pressure front	Stoßfront
pressure head	Standdruck
pressure vessel	Druckgefäß
pressurized water reactor	Druckwasserreaktor

pressurizer	Druckerzeuger
pre-stressed concrete	Spannbeton
pre-value	Sollwert
primary circuit	Primärkreislauf
primary fission yield	Ausbeute an primären Spaltprodukten
primary ionization	Ionisation durch die Primärteilchen (ohne die durch Sekundärteilchen)
primary shield	Primärschild (nächst Reflektor)
probe changer	Probenwechsler
process "25" hexon	Prozeß-25-Hexon
process "25" TBP	Prozeß-25-TBP
process facilities	Prozeßanlagen
process metallurgy	Metallurgie
processing	Herstellung, Verfahren
production current	Produktionsstrom
production reactor	Reaktor für Plutoniumerzeugung
productivity	Produktivität
prompt critical	prompt-kritisch
prompt jump	prompter Sprung, Anstieg
prompt (fission) neutrons	prompte (Spaltungs-) Neutronen
prompt gamma radiation	prompte γ-Quanten (die bei der Spaltung entstehen)
proportional counter	Proportionalzähler
proportional counter tube	Proportionalzählrohr
proportional-position action	Proportionalregelung
proportional region	Proportionalbereich
prospection	Prospektion
protactinides	Protaktiniden
protactinium	Protaktinium
protative effect	Schutzeffekt
protection	Schutz
protection of radiation	Strahlenschutz
protection survey	Strahlenschutz-Überwachung

protective apron	Bleischürze
protective coating	Schutzüberzug
protective cover	Berührungsschutz, Schutzüberzug
protective gloves	Schutzhandschuhe
protective screen	Schirm
proton	Proton
proton rays	Protonstrahlen
proton recoil counter	Protonen-Rückstoßzähler
proton-proton-chain	Wasserstoff-Zyklus
proton-proton-force	Proton-Proton-Kraft
protraction	Protrahierung
protraction dose	Dosisprotrahierung
psi (pounds per square inch)	Druckmaß = 70,3 g/cm^3
psia (pounds per square inch absolute)	
Pu-cycle	Plutonium-Zyklus
pulse	Impuls
pulse amplifier	Impulsverstärker
pulse counter	Impulszähler
pulse generator	Impulsgenerator
pulse height analyzer	Impulshöhen-Analysator
pulse height discriminator	Impulshöhen-Diskriminator
pulse height selector	Impulshöhen-Selektor
pulse ionization chamber	Impuls-Ionisationskammer
pulse modulation	Impulsmodulation
pulse spectrograph	Impulsspektrograph
pumping power	Pumpleistung
pure element	Reinelement
purex process	Purex-Prozeß
pycnosis	Kernpyknose

Q

quadrupole moment	Quadrupolmoment
quality	Qualität
quantity of radiation	Strahlungsintensität
quantization	Quantelung
quantum	Quant, Teilchen

quantum energy	Quantenenergie
quantum mechanics	Quantenmechanik
quantum number	Quantenzahl
quantum statistics	Quantenstatistik
quantum yield	Quantenausbeute
quaterphenyl	Quaterphenyl
quenching	1. Löschung, 2. Abschrecken (Metallkunde)
quenching circuit	Löschkreis
Q-value	Q-Wert, Energietönung von Kernreaktionen

R

rabbit	wörtlich: Kaninchen, beim Reaktor: Rohrpostbüchse, Rohrpost
radiation	Strahlung
radiation background	Strahlungsuntergrund
radiation capture	Strahlungseinfang
radiation characteristic	Strahlungscharakteristik
radiation chemistry	Strahlenchemie
radiation content	Strahlungsinhalt
radiation counter tube	Strahlenzählrohr, Zählrohr
radiation damage	Strahlenschädigung, Strahlenschaden
radiation danger zone	strahlengefährdete Zone
radiation disease	Strahlenkrankheit
radiation flux	Strahlungsfluß
radiation hazard	Strahlengefahr
radiation indicator	Strahlenindikator
radiation injury	Bestrahlungsschaden
radiation ionization	Strahlungsionisation
radiation length	Strahlungslänge
radiationless transformation	strahlungsloser Übergang
radiation monitor	Strahlenwarngerät
radiation power	Strahlungsleistung
radiation pressure	Strahlungsdruck
radiation quality	Strahlenqualität
radiation sickness	Strahlenkrankheit

radiation stability	Strahlungsstabilität
radiation survey	Strahlungsüberwachung
radiation syndrome	Bestrahlungssyndrom
radiation therapy	Strahlentherapie
radiation unit	Strahlungseinheit
radiative capture	Strahlungseinfang
radical	Radikal
radical reaction	Radikalreaktion
radioactive	radioaktiv
radioactive carbon	Radiokohlenstoff
radioactive chain	Zerfallsreihe
radioactive contamination	radioaktive Verseuchung, Kontamination
radioactive decay	radioaktiver Zerfall
radioactive decay constant	radioaktive Zerfallskonstante
radioactive decay law	radioaktives Zerfallsgesetz
radioactive decay series	radioaktive Zerfallsreihe
radioactive deposit	aktiver Niederschlag
radioactive disintegration	radioaktiver Zerfall
radioactive displacement law	radioaktiver Verschiebungssatz
radioactive equilibrium	radioaktives Gleichgewicht
radioactive fall-out	radioaktiver Niederschlag
radioactive heat, syn. f. radiogenic heat	radiogene Wärme
radioactive iodine	radioaktives Jod
radioactive isotope	radioaktives Isotop
radioactive nuclide	radioaktives Nuklid
radioactive period	Halbwertszeit, mitunter auch mittlere Lebensdauer
radioactive poisoning	radioaktive Vergiftung
radioactive series	Zerfallsreihe
radioactive tracer	radioaktiver Indikator, Leitisotop
radioactive transformation	radioaktive Umwandlung

radioactivity	Radioaktivität
radioautograph	Autoradiogramm
radiobiology	Strahlenbiologie
radiobiologic action	strahlenbiologische Wirkung
radiobiological saturation effect	strahlenbiologischer Sättigungseffekt
radiocarbon	radioaktiver Kohlenstoff
radiocarbon age	Kohlenstoffalter
radiocarbon dating	C^{14}-Datierung
radiochemical analysis	radiochemische Analyse
radiochemistry	Radiochemie
radiochromatography	Radiochromatographie
radio-colloid	Radiokolloid
radioelement	Radioelement
radiogenic	radiogen, radioaktiven Ursprungs
radiograph	Radiogramm
radiography	Radiographie
radioisotope	radioaktives Isotop
radiolead	Radioblei
radiology	Radiologie
radioluminescence	Radiolumineszenz
radiolysis	Radiolyse
radiometric analysis	radiometrische Analyse
radionuclide	radioaktives Atom
radioresistance	Widerstandsfähigkeit gegen Strahlung
radiosensibility	Strahlenempfindlichkeit
radiotherapy	Strahlentherapie
radium	Radium
radium age	Radium-Alter, Alter auf Grund des Radiumgehaltes
radium needle	Radiumnadel
radium series	Zerfallsreihe des Radiums
radon	Radon
random coincidence	Zufallskoinzidenz
range	1. Reichweite (eines Teilchens), 2. Materiedicke (evtl. Dickenbereich), 3. Bereich

range-energy relation	Energie-Reichweite-Beziehung
range, visual	abgeschätzte Reichweite
rate	Rate, Anteil
rate of exchange	Austauschgeschwindigkeit
rate meter	Mittelwertsmesser, Integrator
Rayleigh distillation	Rayleigh-Destillation
RBE (relative biological effectiveness of radiation)	relative biologische Wirksamkeit, RBW
reaction	Reaktion
reaction, nuclear	Kernreaktion
reaction, thermonuclear	thermonukleare Reaktion
reaction apparatus	Reaktionsapparat
reaction energy	Energietönung (von Kernprozessen)
reaction rate	Reaktionsgeschwindigkeit
reactivity	Reaktivität
reactivity change	Reaktivitätsänderung
reactivity coefficient	Reaktivitätskoeffizient
reactivity control	Reaktivitätssteuerung
reactivity noise	Reaktivitätsrauschen
reactivity oscillations	Reaktivitätsoszillation
reactor	Reaktor (Uran-, Plutonium-) Brenner
epithermal reactor	epithermischer Reaktor
thermal reactor	thermischer Reaktor
reactor cell	Zelle im Reaktor
reactor core	Spaltzone
reactor design	Reaktorentwurf
reactor dynamics	Reaktordynamik
reactor equation	Reaktorgleichung
reactor kinetics	Reaktorkinetik
reactor oscillator	Reaktoroszillator
reactor period	Reaktorperiode
reactor plant	Reaktoranlage
reactor poisons	Reaktorgifte
reactor radiation	Reaktorstrahlung
reactor simulator	Reaktorsimulator
reactor statics	Reaktorstatik

reactor theory	Reaktortheorie
reactor theory, macroscopic	makroskopische Reaktortheorie
reactor theory, microscopic	mikroskopische Reaktortheorie
reactor transfer function	Übertragungsfunktion
reactor vessel	Reaktorgefäß
reboiler	Aufwärmer
recessive	rezessiv
recharging	Wiederbeladen
recoil	Rückstoß
recoil atom	Rückstoßatom
recoil nucleus	Rückstoßkern
recombination	Rekombination
recombination coefficient	Rekombinationskoeffizient
recombination system	Rekombinationsanlage
recorder	Meßschreiber, Schreiber
recovery	Erholung, Ausbringung
recovery rate	Erholungsgrad
recovery time	Erholungszeit
recrystallization	Rekristallisation
rectification	Rektifikation
rectification column	Fraktionierkolonne
rectifier	Rektifizierer
rectifying column	Verstärkungssäule, Rektifiziersäule
recycle, recycling	Rückführung, Wiedereinsetzen
red brass	Tombak, Rotguß
reduction of area	Einschnürung
reference input	Sollwert, Bezugswert
reference reactor	Bezugsreaktor
reference source	Bezugsquelle, Vergleichsquelle
reflection coefficient	Reflektionskoeffizient, Albedo
reflector	Reflektor
reflector saving	Ersparnis an multiplizierendem Medium durch Reflektor
reflux	Rückfluß

English	Deutsch
reflux ratio	Rückflußgrad
regeneration	Aufarbeitung, Reinigung
regenerative process	Regenerierungsverfahren
regenerative reactor	(Pu-) Erzeugungsreaktor
registor	Zählwerk
regulating rod	Regelstab
regulating system	Regelsystem, Regelanlage
regulator output	Stellglied
re-ignition	Nachentladung
relative biological effectiveness, RBE	relative biologische Wirksamkeit, RBW
relative volatility	relative Flüchtigkeit
relativistic	relativistisch
relativity	Relativität
relativity of mass	relativistische Massenveränderlichkeit
relaxation	Relaxation
relaxation length	Relaxationsstrecke
relaxation time	Relaxationszeit
release counter	Auslösezähler
reloading run	Vorlauf
reloading time	Vorlaufzeit
rem (roentgen equivalent, man)	rem = rad × RBW
remote control	Fernregelung, Fernsteuerung
remote handling equipment	Fernbedienungsgeräte
remote manipulation	Fernbedienung
removal cross section	Ausscheidquerschnitt
rem (roentgen equivalent physical)	rep
repetitive error	maximale Regelabweichung
reprocessing	Aufarbeitung von verbrauchten Spaltstoffstäben
reprocessing loss	Aufarbeitungsverluste
reproduction factor, syn. f. multiplication factor	Vermehrungsfaktor
repulsive force	Abstoßungskraft
repulsive potential	Abstoßungspotential

research reactor	Forschungsreaktor
reset action syn. floating action	integrierende Reglung
reset time	1. Nachlaufzeit, 2. Rückstellzeit
residual activity	Restaktivität
residual range	Restreichweite
resin wool	Kunstharzwolle
resolution	Auflösung (einer optischen oder massenspektroskopischen Anordnung)
resolving time	Ansprechzeit
resolving power	Auflösungsvermögen
resonance	Resonanz
resonance absorption	Resonanzabsorption
resonance capture	Resonanzeinfang
resonance energy	Resonanzenergie
resonance escape probability	Bremsnutzung, Durchlaßwahrscheinlichkeit
resonance integral	Resonanzintegral
resonance level	Resonanzniveau
resonance line	Resonanzlinie
resonance neutrons	Resonanzneutronen
resonance peak	Resonanzspitze
resonance region	Resonanzbereich
resonance scattering	Resonanzstreuung
rest energy	Ruhenergie
rest mass	Ruhemasse
restricted theory of relativity	spezielle Relativitätstheorie
retention	Retention, Zurückhaltung
retention coefficient	Retentionsgrad
reticular structure	Gitterstruktur
reticulo endothelial system	Retikuloendotheliales System
reverse	Rücklauf
reversible	reversibel
Reynolds-No	Reynolds-Zahl
rheotron	Rheotron
rhombic	rhombisch
rise time	Anstiegszeit
Ritz-method	Ritzsche Methode

r-meter	r-Meter
Rockwell hardness	Rockwell-Härte
rod	Stab
control rod	Steuerstab, Regelstab
fuel rod	Brennstoffstab
regulating rod	Regelstab
safety rod	Sicherheitsstab
shim rod	Trimmstab
rod assembly	Stabanordnung
rod lattice	Stabgitter
roentgen equivalent, man	rem = rad × RBW
roentgen equivalent physical	rep
roentgen rays	Röntgenstrahlen
roentgen therapy	Röntgentherapie
roentgenography	Röntgengenographie
roentgenology	Röntgengenologie
rolling	Walzen
Rossi circuit	Rossi-(Koinzidenz-) Schaltung
rotational x-ray therapy	Rotationsbestrahlung
run-away	Durchgehen
rupture modulus	Bruchmodul
rutheniumtetroxide	Rutheniumtetroxyd
Rutherford dispersion formula, R. scattering law	Rutherfordsches Streugesetz
Rutherford unit	Rutherford-Einheit
Rydberg constant	Rydbergsche Konstante

S

saddle point	Sattelpunkt
safety container	Sicherheitsbehälter
safety operation	Sicherungsoperation
safety problems	Sicherheitsprobleme
safety report	Sicherheitsbericht
safety rod	Sicherheitsstab
safety signal	Sicherheitssignal
safety system	Sicherungssystem
salting agent	Salzagens, Salzzuschlag

samarium poisoning	Samariumvergiftung
sampling system	Schnüffelanlage
sand filter	Sandfilter
sandstone	Sandstein
sandwich method	Sandwichmethode
sarcoma	Sarkom (bösartige Geschwulst)
Sargent curves	Sargent-Kurven
saturated activity	Sättigungsaktivität
saturation	Sättigung
saturation activity	Sättigungsaktivität
saturation current	Sättigungsstrom
saturation voltage	Sättigungsspannung
scalar flux	skalarer Fluß
scale, chemical	chemische Massenskala
scale, physical	physikalische Massenskala
scale of ten circuit	Dekadenzähler
scale of two circuit	Dualzähler
scaler, scaling circuit	Zählgerät
binary scaler	Dualzähler
decade scaler	Dekadenzähler
scaling factor	Skalenfaktor
scalping	mechanisches Entfernen der Oberfläche
scandium	Skandium
scattered radiation	Streustrahlung
scattered wave	Streuwelle
scattering	Streuung
scattering amplitude	Streuamplitude
scattering angle	Streuwinkel
scattering cross section	Streuquerschnitt
scattering error	Streufehler
scattering formula	Streuformel
scattering mean free path	Streuweglänge
scattering probability	Streuwahrscheinlichkeit
scavenger	Radikalfänger
scavenging	Reinigungsfällung, Scavenging
scheelite	Scheelit
Schmidt-No	Schmidt-Zahl
scintillation	Szintillation

scintillation chamber	Szintillationskammer
scintillation counter	Szintillationszähler, Kristallzähler
scintillation spectrometer	Szintillationsspektrometer
scram	Schnellschluß
scram button	Notschalter, Schnellschlußschalter
scram clutch	Abschaltkupplung
scram delay	Abschaltverzögerung
scram mechanism	Abschaltorgane
scram power	Abschaltleistung
scram rod	Notstab, Schnellschlußstab
scram rod transport mechanism	Rückholmechanismus
scram switch	Notschalter
screenage	Abschirmung
screening of nucleus	Abschirmung des nuklearen Coulombfeldes (durch die Elektronenhülle)
screw dislocation	Schraubenversetzung
scrub	Waschlösung
scrub section	Waschanlage, Waschabteilung
sealed-in fuel element	eingehülstes Brennstoffelement
sealed radioactive material	geschlossenes radioaktives Präparat
sealing medium	Abdichtmasse
secondary circuit	Sekundärkreislauf
security rod	Sicherheitsstab
seed elements	Saatelemente
segregation	1. Seigerung (Metallkunde), 2. Aufspaltung (biol.)
selection rules	Auswahlregeln
selective absorption	selektive Absorption
selective localization	selektive Anhäufung, s. Ablagerung
selenium	Selen

self-absorption	Selbstabsorption
self-adjoint	selbstadjungiert, hermitisch
self-energy	Selbstenergie
self maintaining chain reaction	sich selbst erhaltende Kettenreaktion
self-quenched counter tube	selbstlöschendes Zählrohr
self-regulation	Selbstregelung (eines Reaktors)
self-scattering	Eigenstreuung (einer strahlungemittierenden Substanz)
self-shielding	Selbstabschirmung
self-stabilisation	Selbststabilisierung
semi empirial mass formula	halbempirische Massenformel
sensitive time	Ansprechzeit
sensitive volume	empfindliches Volumen
sensitivity	Empfindlichkeit, Ansprechvermögen
separating unit	Trenngruppe
separation	Trennung
separation column	Trennsäule, Trennkolonne
separation cylinder	Trennwalze
separation energy	Trennarbeit
separation factor	Trennfaktor
separation nozzle	Trenndüse
separation plant	Trennanlage
separation potential	Trennpotential
separation process	Trennvorgang
separation tube	Trennrohr
separative power	Trennkraft
series	Reihe, Zerfallsreihe
series formula	Serienformel
servomechanism	Servomechanismus
servo motor	Hilfsmotor
servo system	Servo-System
set-back	Rückstellen, Tiefstellen
set point	Sollwert
set-up	Hochstellen
settling	Absetzen, Sedimentieren

setting time	Korrektionszeit
sex chromosome	Geschlechtschromosomen
shadow shield	Schattenschild
shear stress	Schubspannung
shear(ing) modulus	Schubmodul
shell	Schale
shell model	Schalenmodell
shell structure of nuclei	Schalenstruktur der Atomkerne
shield	Schild, Schutzschirm
biological shield	biologischer Schild
optimal shield	optimaler Schild
thermal shield	thermischer Schild
shield calculation	Schildberechnung
shield material	Abschirmstoff
shielding	Abschirmung
shim mechanism	Trimmorgane
shim range	Trimmhub
shim rod	Trimmstab
shim safety mechanism	Trimmabschaltorgane
shim safety rod	Trimmabschaltstab
shim safety signal arm	Trimmabschaltarm
shim velocity	Trimmgeschwindigkeit
shimming	Trimmen
shock front	Stoßfront
shock wave	Stoßwelle
shower	Schauer
shower particle	Schauerteilchen
shrinkage cavity	Schwindungslunker
shrinkhole	Lunker
shut-down	Abschalten (des Reaktors)
shut-down development	Abschaltverlauf
shut-down procedure	Abschaltvorgang
shut-down reactivity	Abschaltreaktivität
shut-down time	Abschaltzeit
shut-off rods	Abschaltstäbe
shutter	Schließer, Verschluß
shuttle, syn. f. rabbit	Rohrpostbüchse
Sidot blende	Sidot-Blende
sieve plate	Siebplatte
sigma bus	Sigma-Linie, Sigma-Schiene

sigma pile	Sigma-Reaktor, Sigma-Anordnung
signal arm	Absorber-(Dreh-) Arm
signal panel	Signaltafel
silicon	Silizium
silumine	Silumin
silver	Silber
simple distillation	einfache Destillation
simple process factor	Einprozeßfaktor, Trennfaktor
simulator	Simulator
simultaneous	simultan
single crystal	Einkristall
single particle model of nucleus	Einteilchenmodell der Atomkerne, Schalenmodell
single phase dosimeter	Einphasendosimeter
single scattering	Einfachstreuung
single stage recycle	Einstufen-Rückstromverfahren
singlet	Singulett
sintering	Sintern
size distribution	Korngrößenverteilung
size separation	Klassieren, Sichten
size separation by screens	Sieben
skin dose	Hautdosis (Oberflächendosis)
slagging of fission products	Spaltproduktausschlackung
slip	Gleitung
slip bands	Gleitlinien
slip plane	Gleitebene
slow reactor, syn. f. thermal reactor	thermischer Reaktor
slowing down	Bremsvorgang
slowing down area	Bremsfläche
slowing down density	Bremsdichte
slowing down equation	Bremsgleichung
slowing down kernel	Bremskern
slowing down length	Bremslänge

slowing down power	Bremsvermögen
slowing down probability	Bremswahrscheinlichkeit
slowing down time	Bremszeit
slug	Bolzen, Block, Brocken
slurry reactor	Suspensionsreaktor
sodium	Natrium
sodium carbonate	Natriumkarbonat
sodium graphite reactor	Natrium-Graphit-Reaktor
soldering	Weichlöten, Löten
solid angle	Raumwinkel
solid state	fester Aggregatzustand
solid solution	feste Lösung (Mischkristall)
substitutional solid solution	Substitutionsmischkristall
interstitial solid solution	Einlagerungsmischkristall
solidification	Erstarrung
solubility	Löslichkeit
solvent extraction	Solventextraktion
Soret effect	Thermodiffusion
sorting	Klassifizierung
source flux	Quellfluß
source interlock	Quellverriegelung
source range	Quellbereich
source strength	Quellstärke
source correction	Quellkorrektur
space charge	Raumladung
space lattice	Raumgitter
spallation	Spallation, Kernzersplitterung, Kernverdampfung, Kernzertrümmerung
spalling	Schülpen, Abblättern
spark counter	Funkenzähler
specific charge	spezifische Ladung
specific gravity (weight)	spezifisches Gewicht
specific heat	spezifische Wärme
specific ionization	spezifische Ionisation
specific power	spezifische Leistung
spectral line	Spektrallinie

spectral series	Spektralserie
spectrograph	Spektrograph
spectrometer	Spektrometer
spectrum	Spektrum
continuous spectrum	kontinuierliches Spektrum
discret spectrum	diskretes Spektrum, Linienspektrum
spherical harmonics	Kugelfunktionen
spherical harmonics method	Kugelfunktionen-Methode
spiking	Spicken
spin	Spin
spin dependence of nuclear forces	Spinabhängigkeit der Kernkräfte
spin-magnetic moment	magnetisches Spinmoment
spin momentum	Spindrehimpuls
spin-orbit coupling	Spin-Bahn-Kopplung
spin quantum number	Spinquantenzahl
spleen	Milz
split-flow reactor	Reaktor mit geteiltem Kühlmittelfluß
spontaneous	spontan
spray	Zerstäuben
spray points	Sprühstellen
spring-back	Rückfederung
spurious counts	unechte Impulse
square well potential	rechteckiger Potentialtopf
squaring of cascades	Quadrierung von Kaskaden
stability	Stabilität (eines Reaktors) meist im Sinne von Selbststabilisierung
stable	stabil
stable reactor period	stabile Reaktorperiode
stack	Schornstein
stage	Boden, Stufe
stainless steel	rostfreier Stahl
stand pipes	Standrohre
standard man	Standard-Mensch
Stanton-No	Stanton-Zahl

star (nuclear)	(Zertrümmerungs-) Stern
starting voltage	Einsetzspannung
start-up	Anfahren (eines Reaktors), Start
start-up accident	Startzwischenfall
start-up period	Startperiode
start-up sequence	Startverlauf
start-up time	Startzeit
state	Zustand
parameters of state	Zustandsgrößen
statistical error	statistischer Fehler
statistical straggling	statistische Streuung
statistical weight	statistisches Gewicht
statistics	Statistik
steady state	stationärer Zustand
steam distillation	Dampfdestillation
steam generation in reactors	Dampferzeugung in Reaktoren
steam generator	Dampferzeuger
steam separator	Dampfabschneider
steel	Stahl
stainless steel	rostfreier Stahl
step-by-step excitation	stufenweise Anregung
step wedge	Stufenkeil
stimulation	Stimulation
Stirling formula	Stirlingsche Formel
stirring (mixing)	Rühren
stoichiometry	Stöchiometrie
stopping	Abbremsen
stopping cross section	Bremsquerschnitt
stopping power	Bremsvermögen
storage	Speicherung
storage tank	Vorratstank
stored energy	gespeicherte Energie
straggling	Streuen, Streuung
strain age hardening	Reckalterung
strain hardening	Verfestigung
stratigraphic age	stratigraphisches Alter
stray radiation	Streustrahlung
streamline flow	laminare Strömung
strengthening	Verfestigung
stress corrosion	Spannungskorrosion

stress-to-rupture	Dauerstandskennwert
stringer	Verschlußstück
strip	Waschlösung
strippable film paint	Abziehlack
stripped atom	hochionisiertes Atom
stripper	Abstreifer
stripping	Abstreifen (von Neutronen), Stripping
stripping cascade	Trennkaskade
stripping emulsion	Abziehemulsion
strontium	Strontium
strontium age	Strontiumalter
structural material	Strukturmaterial
subcritical	unterkritisch
subcritical multiplication	unterkritische Verstärkung
subcritical multiplication factor	Quellenverstärker
sublimation	Sublimation
substitutional solid solution	Substitutionsmischkristall
sulphur	Schwefel
supercritical	überkritisch
superheater	Überhitzer
supervoltage	Überspannung, Hochspannung
surface absorption term	Oberflächenabsorptionsterm
surface burst	Oberflächenexplosion
surface dose	Oberflächendosis
surface migration	Oberflächenwanderung
surface roughening	Oberflächenaufrauhung
surface tension	Oberflächenspannung
surge tank	Puffertank
survey	Kontrolle
survey instrument	Überwachungsinstrument, Überwachungseinrichtung
survial curve	Überlebenskurve
suspension reactor	Suspensionsreaktor
sweep gas	Spülgas
swelling	Schwellen

swimming pool reactor	Schwimmbeckenreaktor, Wasserbeckenreaktor
synchro-cyclotron	Synchro-Zyklotron
synchrotron	Synchrotron
syndrome	Syndrom

T

tagged atom	Indikatoratom, markiertes Atom
tailings	1. Erzabfall, Grubenklein 2. Rückstand
tamper	Reflektor
tank-assembly	Tankanordnung
tank-reactor	Tank-Reaktor
tantalum	Tantal
target	Target, Auffänger, empfindlicher Bereich (Treffertheorie)
target theory syn. f. hit theory	Treffertheorie
technetium	Technetium
telegraphers equation	Telegraphengleichung
tellurium	Tellur
temperature boundary layer	Temperaturgrenzschicht
temperature coefficient of reactivity	Temperaturkoeffizient der Reaktivität
temperature damage	Temperaturschäden
temperature (time) delay	Temperaturverzögerung
temperature distribution	Temperaturverteilung
temperature limit	Grenztemperatur
temperature overhoot	Temperaturüberschlag
temperature stabilization	Temperaturstabilisierung
tensile strength	Zugspannung, Zugfestigkeit
tensile test	Zugversuch
tensor force	Tensorkraft
tenth-value layer	Zehntelwertschicht
terbium	Terbium
term	Term
term scheme	Termschema

ternary fission	Dreierspaltung
terphenyl	Terphenyl
test hole	Versuchskanal
testis	Hoden
tetraethyleneglycol	Tetraäthylenglycol
tetragonal	tetragonal
tetragonal distorted	tetragonal verzerrt
texture	Textur
thallium	Thallium
thenoyltrifluoracetone	Thenoyltrifluorazeton
theory of control system	Regelungstheorie
theoretical plate, th. stage	theoretischer Boden
thermal	thermisch
thermal analysis	thermische Analyse
thermal breeder	thermischer Brüter
thermal column	thermische Säule
thermal conductivity	Wärmeleitfähigkeit
thermal cross section	thermischer Wirkungsquerschnitt
thermal cycle	Wärmekreislauf
thermal cycling	Temperaturwechselprüfung
thermal diffusion	Thermodiffusion
thermal diffusivity	Temperaturleitfähigkeit
thermal efficiency	thermischer Nutzungsgrad, Wirkungsgrad
thermal energy	thermische Energie, Wärme
thermal equilibrium	Wärmegleichgewicht, thermisches Gleichgewicht
thermal inertia	Wärmeträgheit
thermal motion	Wärmebewegung
thermal neutrons	thermische Neutronen
thermal radiation	Wärmestrahlung
thermal reactor	thermischer Reaktor
thermal response	Temperaturanstiegsrate
thermal shield	thermischer Schild, Wärmeschild
thermal stress	Wärmespannung
thermal swing	Trennschaukel
thermal utilization	thermische Nutzung
thermal utilization factor	thermischer Nutzfaktor

thermistor	Thermistor
thermoconvection	Thermokonvektion
thermodiffusion	Thermodiffusion
thermodynamic cycle	Kreisprozeß
thermonuclear	thermonuklear
thimble ionization chamber	Fingerhutkammer
thoria	Thorerde, Thoriumdioxyd
thorianite	Thorianit
thorides	Thoride
thorite	Thorit
thorium	Thorium
thorium cycle	Thorium-Zyklus
thorium fission	Thoriumspaltung
thorium nitrate	Thoriumnitrat
thorium ore	Thoriumerz
thorium reactor	Thoriumreaktor
thorium series	Thoriumreihe
thoron	Thoron
threshold	Schwelle, Energieschwelle
threshold detector	Schwellendetektor
threshold dose	Schwellenwertdosis
threshold energy	Schwellenenergie
threshold value	Schwellenwert
thrombocyte	Thrombozyt (Blutplättchen)
thulium	Thulium
time behavior	Zeitverhalten
time constant	Zeitkonstante
time discriminator	Zeitdiskriminator
time factor	Zeitfaktor
time independent	zeitunabhängig
time lag	Verzögerung, Nachhinken
time of flight method	Laufzeitmethode
tin	Zinn
tissue	Gewebe
tissue dose	Gewebedosis
tissue equivalent ionization chamber	gewebeäquivalente Ionisationskammer
tissue equivalent material	gewebeäquivalentes Material

titanium	Titan
TNT	Trinitrotoluol, TNT
tolerance dose	Toleranzdosis
tombac	Tombak
torsion test	Torsionsversuch, Verdrehungsversuch
total cross section	totaler Wirkungsquerschnitt
total ionization	vollständige Ionisation
total neutron importance	verallgemeinerter Neutroneninhalt
Townsend avalanche	Townsend-Lawine
trace	Spur, geringe Konzentration, geringer Gehalt
trace chemistry	Spurenchemie, Mikrochemie
trace concentration	Spurenkonzentration
tracer	Indikator, Markierer, Indikatoratom
tracer chemistry	Indikatorchemie
tracer compound	Indikatorverbindung
tracer method	Leitisotopenmethode
tracer studies	Indikatorenuntersuchung
track	Spur, Bahnspur
transducer	Übertrager
transfer factor	Übertragungsfaktor
transfer function	Frequenzgang, Übertragungsfunktion
transformation	Umwandlung, Phasenumwandlung
transformation chain, family, series syn. f. radioactive series	radioaktive Zerfallsreihe
transformation constant, syn. f. disintegration constant	Zerfallskonstante
transient period	vorübergehende Periode
transit time	Laufzeit
transition	Übergang, Umwandlung
transition effect	Übergangseffekt
transition function	Übergangsfunktion

transition probability	Übergangswahrscheinlichkeit
translation movement	Translationsbewegung
translocation	Translokation
translocation of chromosomes	Chromosomen-Translokation
transmutation	Kernumwandlung
transparent	durchlässig
transport	Transport
transport cross section	Transportquerschnitt
transport equation	Transportgleichung
transport factor	Transportfaktor
transport kernels	Transportkerne
transport mean free path	Transportweglänge, Transportfaktor
transport theory	Transporttheorie
transuranium elements	Transurane
tributylphosphate	Tributylphosphat
tricline	triklin
triplet	Triplett
tritium	Tritium
tritium source	Tritiumquelle
tritium target	Tritiumauffänger
triton	Triton
tube	Röhre
tube conveyor	Durchführung
tungsten	Wolfram
tungsten carbide	Wolframkarbid
tunnel effect	Tunneleffekt
turbulence	Turbulenz
turbulent flow	turbulente Strömung
twinning	Zwillingsbildung
two group model	Zweigruppenmodell
two out of three system	Zwei-von-drei-Schaltung
two phase dosimeter	Zweiphasendosimeter
two region reactor	Zweizonenreaktor

U

ultra-centrifuge	Ultrazentrifuge
uncanned fuel element	nacktes Brennstoffelement
uncertainty principle	Unbestimmtheitsbeziehung

uncontrolled nuclear reaction	nicht-gesteuerte Kernreaktion
underground burst	unterirdische Explosion
underwater burst	Unterwasserexplosion
unipolar	homöopolar
unit area	Flächeneinheit
unit cell	Elementarzelle
unit operation	Grundverfahren
unit time	Zeiteinheit
unloading machine	Entlademaschine
unsealed radioactive material	offenes radioaktives Präparat
unstable	instabil
uranides	Uranide
uranite (lime)	Uranit
uranium	Uran
uranium carbides	Urankarbide
uranium chlorination	Uranchlorierung
uranium concentrate	Urankonzentrat
uranium content	Urangehalt
uranium fission	Uranspaltung
uranium fluorides	Uranfluoride
uranium fluorination	Uran-Fluorierung
uranium hexafluoride	Uranhexafluorid
uranium molybdate	Uranmolybdat
uranium nitrate	Urannitrat
uranium ore	Uranerz
uranium oxide	Uranoxyd
uranium production	Urangewinnung
uranium rod	Uranstab
uranium series	Uran-(Radium-)Reihe
uranochalcite	Urancalcit
uranyl ion	Uranyl-Ion
uranyl nitrate	Uranylnitrat
uranyl sulfate	Uranylsulfat

V

vacancy	Leerstelle
value	Trennpotential
van de Graaff generator	van-de-Graaff-Generator

vanadium	Vanadin
vaporazation heat	Verdampfungswärme
vapour	Dampf
vapour pressure	Dampfdruck
variability	Variabilität
varionatial method	Variationsmethode
vector flux	Vektorfluß
velocity distribution	Geschwindigkeitsverteilung
velocity focussing	Geschwindigkeitsfokussierung
velocity head	Staudruck
vibrating condenser	Schwingkondensator
vibrating contactor	Zerhacker
Vickers hardness	Vickers-Härte
virgin flux	jungfräulicher Fluß
virgin neutrons	jungfräuliche Neutronen
virgin neutron flux	Fluß der Quellneutronen
virtual	virtuell
virtual level	virtuelles Niveau
virtual state	virtueller Zustand
virtual quantum	virtuelles Quant
virtual particle	virtuelles Teilchen
virus	Virus
viscosity	Viskosität
viscous flow	viskose, laminare Strömung
void	Leerstelle, Loch
void coefficient	Dampfblasenkoeffizient der Reaktivität, Leerraumkoeffizient
volatility	Flüchtigkeit
volatility process	Volatilitätsverfahren
volume absorption term	Volumenabsorption
volume dose	Volumendosis
volume ionization	Volumenionisation

W

waste	radioaktiver Abfall
waste disposal	Abfallbeseitigung

waste recovery	Abfallaufbereitung
waste treatment	Abfallkonzentrierung
water boiler	Wasserkocher
water boiler reactor	Wasserkesselreaktor
water decomposition	Wasserzersetzung
water monitor	Wasser-Monitorgerät
water survey	Wasserüberwachung
wave equation	Wellengleichung
wave function	Wellenfunktion
wave mechanics	Wellenmechanik
wave number	Wellenzahl
weighting function	Gewichtsfunktion
weightless	gewichtslos
welding	Schweißen
arc welding	Lichtbogenschweißen
fusion welding	Schmelzschweißen
gas welding	Gasschweißen
inert-gas-shielded-arc welding	Schutzgasschweißen
pressure welding	Druckschweißen
restistance welding	Widerstandsschweißen
shielded arc welding	Schweißen mit Mantelelektrode
soam welding	Nahtschweißung
spot welding	Punktschweißung
whole-body irradiation	Ganzkörperbestrahlung
wide angle scattering	Weitwinkelstreuung
Widmanstätten structure	Widmanstättensches Gefüge
width	Breite
Wigner effect	Wigner-Effekt
Wigner energy	Wigner-Energie
Wigner force	Wigner-Kraft
Wigner nuclei	Wigner-Kerne, Spiegelkerne
Wilson chamber	Wilson-Kammer, Nebelkammer
window	Fenster
wolfram	Wolfram
wolfram carbide	Wolframkarbid
wrinkling	Oberflächenaufrauhung

X

xenon	Xenon
xenon poisoning	Xenonvergiftung
X-rays	Röntgenstrahlen
X-ray interference	Röntgen-Interferenz
X-ray picture	Röntgen-Abbildung mit Röntgenstrahlen
X-ray spectrum	Röntgenspektrum
X-unit, Xu	X-Einheit

Y

yield	1. Ausbeute, 2. Fließen
yield point	Streckgrenze
Young's modulus, syn. f. modulus of elasticity	Elastizitätsmodul
Ytterbium	Ytterbium
Yttrium	Yttrium
Yukawa potential	Yukawa-Potential

Z

zero power reactor	Nullreaktor
zinc	Zink
zinc sulfide	Zinksulfid
Zintl-phase	Zintl-Phase
zirconium	Zirkon
zonal melting	Zonenschmelzverfahren
zygote	Zygote

A

abondance cosmique	Elementhäufigkeit im Kosmos
abondance isotopique	Häufigkeit der Isotope
abondance des isotopes	Häufigkeit der Isotope
absorbant, syn. absorbeur	Absorber
absorber	absorbieren
absorbeur, syn. absorbant	Absorber
absorption	Absorption
absorption des neutrons	Neutronenabsorption
absorption du rayonnement	Strahlungsabsorption
absorption par noyaux	Kerneinfang
absorption par résonance	Resonanzabsorption
absorption propre	Selbstabsorption
absorptivité, syn. pouvoir absorbant	Absorptionsvermögen
accélérateur	Beschleuniger
accélerateur à gradient alterné	AG-Beschleuniger
accélérateur linéaire	Linearbeschleuniger
accélération négative, syn. ralentissement	Bremsung
accumulateur nucléaire	Strahlungsakkumulator
accident de démarrage	Startzwischenfall
acétate d'uranyle	Uranylazetat
acide acétique	Essigsäure
acide citrique	Zitronensäure
acide hydrofluorique	Flußsäure
acide nucléique	Nucleinsäure
acidité	Azidität
acier	Stahl
acier (à coupe) rapide	Schnellarbeitsstahl
acier au carbone	Kohlenstoffstahl
à-coup de puissance	Leistungsüberschlag
à-coup de réactivité	prompter Sprung, prompter Anstieg der Reaktivität
actif	aktiv, radioaktiv

actinides	Aktiniden
actinium	Aktinium
actinométrie	Aktinometrie
actinon	Aktinon
action	Wirkung, Wechselwirkung
action chélation	Chelatbildung
action de Coulomb	Coulomb-Wechselwirkung
action de masse	Massenwirkung
action des radiations, a. des rayons	Strahlenwirkung
action des radiations génétique	genetische Strahlenwirkung
action en retour	Rückführung
action mutuelle	Wechselwirkung
action mutuelle nucléaire	Kernwechselwirkung
action réciproque	Wechselwirkung
activation	Aktivierung
activation de l'air	Luftaktivierung
activation de l'argon	Argonaktivierung
activation par neutrons	Neutronenaktivierung
activation par pile	Pile-Aktivierung, Reaktoraktivierung
activité	Aktivität
activité à (de) saturation	Sättigungsaktivität
activité maximum	Sättigungsaktivität
activité par unité de surface	Flächenaktivität
activité radioactive	Aktivität
activité rémanente	Restaktivität
activité résiduelle	Restaktivität
activité spécifique	spezifische Aktivität
additif	Zuschlagstoff
adjoint	adjungiert
adsorbant	Sorbens
adsorbat	Sorptiv, Sorbend
adsorption	Adsorption
affaiblissement, syn. atténuation	Schwächung
affection consécutive à une irradiation	Strahlenkrankheit
affinage du grain	Kornfeinung

âge de calcium	Kalzium-Alter
âge de Fermi	Fermi-Alter
âge de plomb	Bleialter
âge de strontium	Strontiumalter
âge des neutrons	Neutronenalter
âge d'hélium	Heliumalter
Agence Internationale de l'Énergie Atomique	Internationale Atomenergie-Organisation (IAEO)
agent de protection	Schutzstoff
agent de refroidissement, syn. réfrigérant	Kühlmittel
agent de rétention	Rückhalteträger
agent d'extraction, syn. solvent d'extraction	Extraktionsmittel
agent salin	Salzagens, Salzzuschlag
agitation thermique	Wärmebewegung
agiter	Rühren
agranulocytose	Agranulocytose
aiguille de radium	Radiumnadel
ailettes	Rippen
air de refroidissement	Luftkühlung
aire	Fläche
aire de migration	Wanderfläche
ajustement de réactivité	Trimmung
alarme	Alarm
albédo	Albedo
alimentation électrique de secours	Notstromversorgung
alliage	Legierung
allobare	Allobar
allongement des barres	Wachstum von Uranstäben
allongement visqueux, syn. fluage	Kriechen
alphatron	Alphatron
altération d'irradiation	Bestrahlungsschaden
altération par bombardement	Beschußschaden
aluminium	Aluminium
amas	Haufen

amas cellulaire	Zellpopulation
américium	Americium
amplidyne	Amplidyne
amplificateur	Verstärker
amplificateur de période	Periodenverstärker
amplificateur d'impulsions	Impulsverstärker
amplificateur linéaire	Linearverstärker
amplificateur logarithmique	logarithm. Verstärker
amplificateur magnétique	Magnetverstärker
amplificateur proportionnel	Proportionalverstärker
ampoule pour irradiations	Bestrahlungsampulle
amplitude de diffusion	Streuamplitude
anaérobic	anaerob
analyse de désintégration	Abfallanalyse
analyse de la hauteur d'impulsion	Impulshöhenanalyse
analyse du rayonnement	Strahlungsanalyse
analyse isotopique	Bestimmung der Isotopenhäufigkeit
analyse par absorption	Absorptionsanalyse
analyse par activation	Aktivierungsanalyse
analyse par décroissance exponentielle	Abfallanalyse
analyse par dilution	Verdünnungsanalyse
analyse radiochimique	radiochemische Analyse
analyse radiométrique	radiometrische Analyse
analyse thermique	thermische Analyse
analyseur de masse	Massenfokussierung
analyseur d'impulsions	Impulshöhenanalysator
anémie	Anämie, Blutarmut
anémomètre	Anemometer
angle de déviation	Beugungswinkel
angle de diffusion	Streuwinkel
anisotropie	Anisotropie
annihilation	Zerstrahlung, Vernichtung
annihilation de paires	Paarvernichtung
anticoïncidence	Antikoinzidenz
anticommutateur	Antikommutator

anticommutatif	antikommutativ
antimoine	Antimon
antineutrino	Antineutrino
antineutron	Antineutron
antiparticule	Antiteilchen
antiproton	Antiproton
antisymétrie	Antisymmetrie
appareil de chargement	Lademaschine
appareil de déchargement	Entlademaschine
appareil de levage	Hebezeug
appareil d'extraction	Extraktor
appareil du réaction	Reaktionsapparat
appareil pour surveiller l'air	Luftmonitorgerät
appareillage d'absorption	Absorberelement
appareillage de démarrage automatique	automatisches Startsystem
appareillage de réglage	Steuerung
appareillage de sécurité	Sicherungssystem
appauvrissement	1. Verarmung 2. Abstreifer
approximation de diffusion	Diffusionsnäherung
approximation P_1	P_1-Approximation
aptitude à la déformation	Verformbarkeit
arête d'absorption	Absorptionskante
argent	Silber
armes atomiques	Atomwaffen, Kernwaffen
arrangement critique	kritische Anordnung
arrêt (d'un réacteur)	Abstellen (eines Reaktors)
arrêt d'urgence	Schnellschluß
arrêter	Abschalten
arsenic	Arsen
assemblage combustible	Brennstoffelement
assemblage des grains	Kerngefüge
astate=astatine	Astatin
atome	Atom
atome chaud	heißes Atom, radioaktives Atom
atome expulsé	Ausstoßatom
atome-gramme	Grammatom

atome hydrogène	Wasserstoffatom
atome mésique	Mesonatom
atome traceur	Indikatoratom, Leitisotop
atomiser	zerstäuben
attaque acide	ätzen
attaque chimique	chemischer Angriff
atténuation	Schwächung
aubages directeurs, aubes	Leitbleche
austénite	Austenit (Gamma-Eisen)
auto-absorption	Selbstabsorption
auto-blindage	Selbstabschirmung
autoclave	Autoklav
auto-diffusion	Eigentrennung
auto-entretenu, syn. a.-propagé	selbsterhaltend, selbstunterhaltend (Kettenreaktion
autographie	Autographie
autoprotection	Selbstabschirmung
autoradiogramme	Autoradiogramm
autoradiographie	Autoradiographie
auto-régulation	Selbststabilisierung, Selbtsregulierung
autosome	Autosom
avalanche (électronique)	(Elektronen-) Lawine
averse	Schauer
avertisseur (de radioactivité	Strahlenwarngerät
azéotrope	Azeotrop
azote	Stickstoff

B

bac, syn. réservoir	Vorratsgefäß, Reservoir
baffle	Leitbleche
baisser (la puissance)	Tiefstellen
balance énergétique	Energiebilanz
balayage	scavenging, Spülung
balayage par gaz	Spülgas
ballon	Kesseltrommel
bande de cadmium	

bande de déformation	Deformationsband
bande de vitesse	Geschwindigkeitsbereich
bande d'énergie des neutrons	Energiebereich der Neutronen
bande des neutrons rapides	Energiebereich der schnellen Neutronen
barium	Barium
barre absorbante	Absorptionsstab
barre d'arrêt	Abschaltstab
barre de combustible	Brennstoffstab
barre de commande	Steuerstab
barre de compensation	Ausgleichsstab, Trimmstab
barre de contrôle	Regelstab
barre de contrôle grossier	Grobregelstab, Trimmstab
barre de pilotage	Trimmabschaltstab
barre de réglage fin	Regelstab, Feinregelstab
barre de sécurité	Sicherheitsstab
barre d'uranium	Uranstab
barreau	(Brennstoff-) Stück
barrière	Wall, Schwelle
barrière de potentiel	Potentialwall
barrière d'énergie	Energieschwelle
baryte	Baryt
batterie d'accumulateurs d'énergie atomique	Atombatterie
berkélium	Berkelium
béryl	Beryll
béryllium	Beryllium
bêtatron	Betatron, Elektronenschleuder
béton	Beton
béton à la colémanite	Colemanit-Baryt-Beton
béton baryte	Baryt-Beton
béton baryte-limonite	Baryt-Limonit-Beton
béton lourd	Schwerbeton
béton lumnite-colémanite	Lumnit-Colemanit-Beton
béton MO	MO-Beton
béton Portland au fer	Eisen-Portland-Beton
béton Portland-lumnite-colémanite	Lumnit-Portland-Colemanit-Beton

Bev	GeV
bévatron	Bevatron
bifurcation	Verzweigung
bilan calorifique	Wärmebilanz
bilan de réactivité	Reaktivitätsbilanz
bilan énergétique	Energiebilanz
bilan-matières	Stoffbilanz
bilan neutronique	Neutronenbilanz
biophysique	Biophysik
bipartition, syn. fission	Spaltung (in zwei)
biscuit	Bisquit
bismuth	Wismut
blende-Sidot	Sidot-Blende
blindage, syn. boudier	Schild, Abschirmung
blindage optimum	optimaler Schild
bloc	Stück
bombardement	Beschuß
bombarder	beschießen
bombe à hydrogène	Wasserstoffbombe
bombe atomique	Atombombe
boral	Boral
boraxal	Boraxal
bore	Bor
borfritt	Borfritt
borocalcite	Borcalzit
boson	Boson
bouchon	Stopfen, Verschluß
boucle, syn. circuit	Kreislauf
boucle de circulation	geschlossener Kreislauf
bouclier de protection	Schild, Abschirmung
bouclier (de protection) biologique	biologische Abschirmung
bouclier optimum	optimaler Schild
bouclier thermique	thermische Abschirmung
boue	Suspension, Aufschwemmung
boursouflure	Aufbeulung
bout (de colonne)	Kopf, Anfang (einer Rektifikations-Kolonne)
branche (radioactivité)	Zweig
branchement	Verzweigung
bras de pilotage	Trimmabschaltarm

braser	hartlöten
brassage, brasure	Hartlötung
breeder, syn. réacteur-régénérateur	Brüten
breeding, syn. régénération	brüten
brise-ampoules	Ampullenöffner
brome	Brom
bronze	Bronze
broyage	Zerkleinerung
broyer	zerkleinern
bruit de fond	Nulleffekt (Untergrund-) Rauschen
bruit de réactivité	Reaktivitätsrauschen
brûler un combustible nucléaire	einen Spaltstoff brennen
Bucky incurvé	Bucky-Blende, Rollblende
burn-up	Abbrand
buse de séparation	Trenndüse
by-pass	Nebenleitung

C

cadmium	Kadmium
caesium	Cäsium
caisson du réacteur	Reaktorgefäß
calage	Trimmen
calcination	Kalzinierung
calcium	Kalzium
calcul des réseaux	Zellenberechnung
calcul du blindage	Schildberechnung
calculateur analogique	Analogie-Rechenmaschine
calculateur de pose	Expositions-rechenschieber
calculateur digitale	Digitalrechenmaschine
calibrage	Körnung
californium	Kalifornium
calutron	Calutron
canal dangereux	gefährdeter Kühlkanal
canal à (de) combustible	Brennstoffkanal

canal dangereux	gefährdeter Kühlkanal
canal de mesure	Meßkanal
canal de refroidissement	Kühlkanal
canal d'expérimentation	Experimentier-Strahlen-Kanal
canal d'irraditiation	Bestrahlungskanal
canal optique	Lichtleiter
canalisation	Leitung
cancer par rayons	Strahlenkrebs
cancérigène	karzinogen
cancérisation par radiation	Krebsentstehung (Karzinogenese)
canon à électrons	Elektronenkanone
caoutschouc plombifère, c. au plomb	Bleigummi
capacité séparation	Leistungsfähigkeit einer Trennanlage
capture	Einfang
capture de neutrons	Neutroneneinfang
capture électronique	Elektroneneinfang
capture K	K-Einfang
capture par noyaux	Kerneinfang
capture par résonance	Resonanzeinfang
capture radiative	Strahlungseinfang
capture radioactive	radioaktiver Einfang
capture résonante	Resonanzeinfang
caractère	Merkmal
caractère dominant	dominierendes Merkmal
caractère récessif	rezessives Merkmal
caractéristique de plateau, c. d'un compteur	Zählrohrcharakteristik
caractéristiques de transmission (de chaleur)	Übertragungseigenschaften (Wärme-)
carapace	Schild, Abschirmung
carapace en agrégat lourd	Schwerbetonschild
carapace en béton	Betonabschirmung
carbonate de sodium	Natriumkarbonat
carbone	Kohlenstoff
carburation	Aufkohlung
carbures d'uranium	Urankarbide
carcinogénèse	Karzinogenese

carcinoma	Karzinom
carence de chromosome	Chromosomenstückausfall
carnotite	Karnotit
cartouche d'uranium	Uranstück
cascade	Kaskade
cascades carrées	Quadrierung von Kaskaden
cassiopéium	Cassiopeium
cassure de chromatide	Chromatid-Bruch
cassure de chromosome	Chromosomenbruch
catalyseur	Katalysator
cataphorèse	Kataphorese
cataracte	Katarakt
cathode froide	kalte Kathode
cavité	Kavität, Hohlraum
cellule	Zelle
cellule à couche d'arrêt	Sperrschichtelement
cellule chaude	heiße Zelle
cellule de réacteur	Reaktorzelle
cellule d'Ohmart	Ohmartzelle
cellule électrolytique	elektrolytische Zelle
cellule élementaire	Elementarzelle
centrale (d'énergie) atomique	Atomkraftwerk
centrale électrique	Kraftwerk
centrale (électrique) nucléaire	Kernkraftwerk
centrifuger	zentrifugieren
centrifugeuse	Zentrifuge
centrifugeuse à contre-courant	Gegenstromzentrifuge
centrifugeuse à courant parallèle	Durchlaufzentrifuge
centrifugeuse à évaporation	Verdampfungszentrifuge
centrifugeuse gazeuse	Gaszentrifuge
cermet	Cermet
chaîne de contrôle	Regelkreis
chaîne de désintégration	Zerfallsreihe
chaîne de respiration endogène	Atmungsfermentkette

chaleur de combustion	Verbrennungswärme
chaleur dissipée dans l'écran	Wärme in der Abschirmung
chaleur dissipée dans le modérateur	Moderatorwärme
chaleur dissipée dans le réflecteur	Reflektorwärme
chaleur rémanente	Nachwärme
chaleur résiduelle	Nachwärme
chambre à basse pression	Unterdruckkammer
chambre à bore	Borkammer
chambre à bulles	Blasenkammer
chambre à condensateur	Kondensatorkammer
chambre à détente	Nebelkammer
chambre à fission	Spaltkammer
chambre à integration	integrierende Ionisationskammer
chambre à paroi d'air	Luftwändekammer
chambre à scintillations	Szintillationskammer
chambre blindée	Abschirmkammer
chambre-condensateur	Kondensatorkammer
chambre d'accélération	Beschleunigungsraum
chambre de compensation	Ausgleichskammer
chambre de décontamination	Abklingraum
chambre de poche	Taschenionisationskammer
chambre de Wilson	Wilsonkammer, Nebelkammer
chambre différentielle	differentielle Ionisationskammer
chambre d'ionisation	Ionisationskammer
chambre d'ionisation à air libre	Luftionisationskammer
chambre d'ionisation à condensation	Nebelkammer
chambre d'ionisation compensée	kompensierte Ionisationskammer
chambre d'ionisation d'extrapolation	Extrapolationskammer
chambre d'extrapolation	Extrapolationskammer

chambre d'ionisation équivalente à l'air	luftäquivalente Ionisationskammer
chambre d'ionisation équivalente aux tissus	gewebeäquivalente Kammer
chambre d'ionisation sans paroi	offene Ionisationskammer
chambre écran	Abschirmkammer
chambre équivalente aux tissus	Gewebe-äquivalente Ionisationskammer
chambre équivalente à l'air	Luft-äquivalente Ionisationskammer
chambre intégrante	integrierende Ionisationskammer
chambre proportionnelle	Proportional-Ionisationskammer
champ du méson, ch. mésique	Mesonfeld
champ nucléaire	Kernfeld
changement de la concentration	Konzentrationsänderung
changement de masse relativiste	relativistische Massenänderung
changeur de préparation	Probenwechsler
chapelle	Abzug
charge	Ladung, Brennstoffinvestition
charge calorifique superficielle	Heizflächenbelastung
charge continue	Dauerbetrieb
charge de combustible	Brennstoff-Einsatz
charge de l'électron	Elektronenladung
charge du nucléon	Nukleonenladung
charge du réacteur	Beschickung
charge élémentaire	Elementarladung
charge intermittante	aussetzender Betrieb, Chargenbetrieb
charge nucléaire	Kernladung
charge spécifique	spezifische Ladung
chargement	Laden, Beladen
chaud	heiß
chateau de plomb	Bleikammer, Meßkammer

chaudière	Kocher, Kessel, Boiler
chauffage-gamma	Gamma-Aufheizung
chauffage par rayonnement	Strahlungserwärmung
chélation	Chelatbildung
chéloide	Keloid
chemisage	einhüllen, einhülsen
chemise	Hülle, Hülse
chicanes	Leitbleche, Schaufeln
chimie chaude	heiße Chemie
chimie des atomes chaudes	heiße Chemie
chimie des radiations	Strahlenchemie
chimie des radio-elements indicateurs	Indikatorchemie
chimie nucléaire	Kernchemie
chimie sous radiation	Strahlenchemie
chlore	Chlor
chlorophylle	Chlorophyll
chloruration de l'uranium	Uranchlorierung
choc syn. collision	Stoß
choc électronique	Elektronenstoß
chromatide	Chromatid
chromatine	Chromatin
chromatine sexuelle	Geschlechtschromatin
chromatographie (en phase) gazeuse	Gaschromatographie
chrome	Chrom
chromosome	Chromosom
chromosome sexuel	Geschlechtschromosom
chronotron	Chronotron
chrysobéryl	Chrysoberyll
cible	Auffänger, Target
ciment	Zement
ciment à la colémanite	Colemanit-Zement
ciment au magnésium	Magnesium-Zement
ciment Portland au fer	Eisen-Portland-Zement
cimétière radioactif	radioaktiver Friedhof, Abfallager
cinétique du réacteur	Reaktorkinetik
circuit	Kreislauf, Schaltung

circuit à action en retour	Rückführungskreislauf
circuit à coïncidence	Koinzidenzschaltung
circuit d'amplification	Verstärkerschaltung
circuit d'anticoïncidence	Antikoinzidenzschaltung
circuit de contrôle	Regelkreis
circuit de découpage	Löschkreis
circuit de refroidissement	Kühlkreislauf
circuit de refroidissement de réserve (de secours, d'urgence)	Notkühlkreislauf, Notkühlanlage
circuit de réglage de la puissance	Leistungsregelkreis
circuit de vapeur	Dampfkreislauf
circuit d'écrêtage	Klipperschaltung
circuit d'extinction	Löschkreis
circuit d'interruption	Löschkreis
circuit expérimental radioactif	radioaktiver (heißer) Kreislauf
circuit fermé de circulation	geschlossener Kreislauf
circuit integrateur	Zählwert
circuit ouvert	offener Kreislauf
circuit primaire	Primärkreislauf
circuit secondaire	Sekundärkreislauf
citrate d'ammonium	Ammoniumcitrat
clarification, syn. décantation	absetzen, Dekantieren
classer	klassieren, einordnen
clévéite	Cleveit
cobalt	Kobalt
coefficient d'absorption	Absorptionskoeffizient
coefficient d'absorption interne (propre)	Selbstabsorptionskoeffizient
coefficient d'absorption massique	Massenkoeffizient
coefficient d'affaiblissement, c. d'atténuation	Schwächungskoeffizient
coefficient de bulles	Blasenkoeffizient, Leerraumkoeffizient
coefficient de danger	Vergiftungskoeffizient
coefficient de diffusion	Diffusionskonstante

coefficient de distribution	Verteilungskoeffizient
coefficient de friction	Reibungskoeffizient
coefficient de frottement	Widerstandsziffer
coefficient de la réactivité	Reaktivitätskoeffizient
coefficient de puissance	Leistungskoeffizient
coefficient de ralentissement	Brennverhältnis
coefficient de surrégénération	Brutgewinn
coefficient de température de la réactivité	Temperaturkoeffizient der Reaktivität
coefficient de transmission de chaleur	Wärmeübergangskoeffizient
coefficient de vides	Leerraumkoeffizient
coefficient d'empoissonnement	Vergiftungsfaktor
coefficient d'utilisation du combustible	Brennstoffausnützung
cœur du réacteur	Spaltzone
coïncidence	Koinzidenz
coïncidence aléatoire	Zufallskoinzidenz
coïncidence retardée	verzögerte Koinzidenz
colémanite	Colemanit
collimateur	Kollimator
collision	Stoß
collision nucléaire	Kernstoß
colonne à plateau, c. à cloches	Bodenkolonne
colonne de diffusion thermique de Clusius	Trennrohr nach Clusius
colonne de distillation	Destillierkolonne
colonne de rectification	Rektifizierkolonne, Verstärkungssäule
colonne de remplissage	Füllkörpersäule
colonne de séparation	Trennanlage
colonne d'extraction	Extraktionskolonne
colonne garnie	Füllkörpersäule
colonne thermique	thermische Kolonne
colorimètre	Kolorimeter
combustible	Brennstoff, Spaltstoff
combustible appauvri	verarmter Brennstoff

combustible circulant	zirkulierender Brennstoff
combustible céramique	keramischer Brennstoff
combustible dénaturé	denaturierter Brennstoff
combustible en circuit	umlaufender Brennstoff
combustible enrichi	angereicherter Brennstoff
combustible fossil	fossiler Brennstoff
combustible naturel	natürlicher Brennstoff
combustible nucléaire	Kernbrennstoff
combustible récyclé	rückgeführter Brennstoff
combustible régénéré	aufgearbeiteter Brennstoff
combustion	Verbrennung
commande	Antrieb, Steuerung
commande à canal unique	Sigma-Linie, Sigma-Schiene
commande de barre de réglage	Regelstabantrieb
commande de sécurité	Sicherheitssteuerung
commande magnétique étanche	Spaltrohrantrieb
commander	steuern
commentation automatique-main	Hand-Automatik-Schalter
commissariat à l'énergie atomique	Atomenergie-Kommission
commutatif	kommutativ
compact	Preßling
compensateur	Kompensator
compensation de décroissance exponentielle	Abfallkorrektur
comportement à charge partielle	Teillastverhalten
comportement à longue échéance	Langzeitverhalten
comportement au déclenchement	Abschaltverlauf
comportement au démarrage	Startverlauf
composante mésique	Mesonenkomponente
composante neutronique	Neutronenkomponente
composé d'uranium	Uranverbindung

composé entraîneur	Trägerverbindung
composé intermétallique	intermetallische Verbindung
composion	Legierung
comptage	Zählung
comptage parasite	Untergrund, Nulleffekt
compteur	Zähler, Zählrohr
compteur à bore	Borzähler
compteur à coïncidence	Koinzidenzzähler
compteur à cristal	Kristallzähler
compteur à étincelles	Funkenzähler
compteur à flux continu	Durchflußzähler
compteur à halogènes	Halogenzähler
compteur à plaques	Plattenzähler
compteur à plongeur	Tauchzählrohr
compteur à radiations	Strahlungszähler
compteur à rayons β	Beta-Zähler
compteur à scintillation	Szintillationszähler
compteur au bromure de méthyle	Methylenbromidzähler
compteur auto-coupeur	selbstlöschendes Zählrohr
compteur automatique	automatischer Zähler
compteur de Cerenkov	Tscherenkow-Zähler
compteur de fréquence d'impulsions	Impulsfrequenzmesser
compteur de Geiger	Geigerzähler, Auslösezähler
compteur de Maze	Maze-Zähler
compteur de Milligoat	Milligoat-Zähler
compteur de neutron	Neutronenzähler
compteur de particules alpha	Alphazähler
compteur de poche	Taschenzählrohr
compteur de radiations	Strahlungszähler
compteur décimal	Dezimalzähler
compteur d'impulsions	Impulszähler
compteur GM	Geiger-Müller-Zählrohr
compteur photoélectrique	photoelektrischer Zähler
compteur pour gaz coulant	Gasdurchflußzähler
compteur proportionnel	Proportionalzähler
compteur-r	R-Meter

compteur volumétrique à bulles	Bläschen-Gasometer
concentration d'équilibre	Gleichgewichtskonzentration
concentration maximal tolerée	max. zulässige Konzentration
concentré uranifère	Urankonzentrat
condensateur	Kondensator
condensateur d'excès	Überschußkondensator
condensation	Kondensation
condenseur	Kondensor
condition critique	kritische Bedingung
condition de la fréquence	Frequenzbedingung
condition de la frontière	Grenzbedingung
condition optimale de température	optimale Temperaturbedingung
condition quantique	Quantenbedingung
conducteur de lumière	Lichtleiter
conductibilité calorifique	Wärmeleitfähigkeit
conductibilité électrique	elektrische Leitfähigkeit
conductibilité thermique	Wärmeleitfähigkeit, Temperaturleitfähigkeit
conduction de chaleur	Wärmeleitung
conduite	Leitung
conduite auxiliaire	Hilfs-(Neben-)leitung
conjugué	konjugiert
consommation	Abbrand
consommation de combustible	Brennstoffverbrauch
consommation propre d'énergie	Energie-Eigenbedarf
constante atomique	atomare Konstante
constante de désintégration	Zerfallskonstante
constante de diffusion	Diffusionskonstante
constante de dose	Dosiskonstante
constante de groupe	Gruppenkonstante
constante de réseau	Gitterkonstante
constante de temps	Zeitkonstante, Reaktorperiode
constante d'équilibre	Gleichgewichtskonstante
constante réticulaire	Gitterkonstante

constitution de l'atome	Atombau
constitution du noyau	Kernbau
construction des appareils chimiques	chemischer Apparatebau
containeur de décontamination	Abklingbehälter
contamination	1. Kontamination, Verseuchung, 2. Vergiftung
contamination radioactive	radioaktive Verseuchung
contre-courant	Rücklauf (Rektifikation)
contraction des lanthanides	Lanthanidenkontraktion
contrôle	Überwachung, Steuerung, Regelung
contrôle de l'air	Luftüberwachung
contrôle du personnel	Personal-Überwachung
contrôle du rayonnement	Strahlungsüberwachung
contrôle intégral proportionnel	PI-Regler
contrôle neutronique	Neutronen-Monitor
contrôle par absorption	Regelung durch Absorption
contrôle par configuration	Regelung durch Konfigurationsänderung
contrôler	kontrollieren, überwachen
controleur	Warngerät, Monitor
controleur d'air	Luftwarngerät
controleur de l'activité de l'eau	Wasser-Monitor
controleur de la période	Periodenmesser
convection	Konvektion
convection forcée	erzwungene Konvektion
convection naturelle	freie Konvektion
convection thermique	thermische Konvektion
conversion	Konversion, Umwandlung
conversion interne	innere Umwandlung
convertisseur	Konverter
convertisseur de flux	Flußumwandler
coprécipitation	Mitfällung
coquille	Kokille
coracite	Coracit

correction de dernière collision (choc)	Letztstoß-Korrektur
correction de première collision (choc)	Erststoß-Korrektur
correction de source	Quellkorrektur
corrélation angulaire	Winkelkorrelation
corrosion	Korrosion
corrosion de contact	Kontakt-Korrosion
corrosion de fatique	Ermüdungs-Korrosion
corrosion par rayonnement	Strahlen-Korrosion
corrosion sous tension	Spannungs-Korrosion
cortège électronique	Elektronenhülle
cosmotron	Kosmotron
couche d'absorption	Abschirmdicke
couche de demi-absorption, de demi-réduction	Halbwertsschicht
couche de récupération	Brutzone
couche électronique	Elektronenschale
couche fermée	abgeschlossene Schale
couche limite	Grenzschicht
couche limite de température	Temperaturschicht
couche limite laminaire	laminare Grenzschicht
couche nucléaire	Kernschale
couche saturée	abgeschlossene Schale
coulée continue	Strangguß
coupage	Löschen (von Zählrohren)
coupe de Fankuchen	Fankuchen-Anschnitt
couplage température-puissance	Leistung-Temperatur-Kopplung
coups parasites	Untergrund
courant de production	Produktionsstrom
courant de saturation	Sättigungsstrom
courant d'ionisation	Ionisationsstrom
courant d'obscurité	Nulleffekt
courant laminaire	laminare Strömung
courant turbulant	turbulante Strömung
courbe d'absorption	Absorptionskurve
courbe d'activité	Aktivitätskurve
courbe de Bragg	Bragg'sche Kurve

courbe de croissance	Wachstumskurve
courbe de decroissance	Zerfallskurve
courbe de désintégration	Zerfallskurve
courbe de Fanno	Fanno'sche Kurve
courbe de réponse en fonction de la fréquence	Amplitudenfrequenzgang
courbe de solubilité	Soliduslinie
courbe de survie	Überlebenskurve
courbe effet-dose	Dosiseffektkurve
course de déclenchement	Abschalthub
course de réglage	Regelhub
à courte période	kurzlebig
coûte d'exploitation	Betriebskosten
couverture	(Brut-) Mantel
craquellement de la surface	Oberflächenaufrauhung
crassier	Schnellablaß
création d'une défaut	Fehlstellenbildung
création d'une paire	Paarbildung
cribler	Klassieren
cristal d'anthracène	Anthrazenkristall
cristal de naphtalène	Naphthalinkristall
cristal mixte	Mischkristall
cristallisation	Kristallisation
cristallite	Kristallit, Korn
critique	kritisch
critique pour les neutrons prompts	prompt-kritisch
critique pour les neutrons retardés	verzögert-kritisch
croissance des grains	Kornwachstum
croûte de moulage	Gußhaut
cryodessication	Gefriertrocknung
cryptoscope	Kryptoskop
cubique	kubisch
cubique à faces centrées	kubisch-flächenzentriert
cubique centré	raumzentriert
cuivre	Kupfer
curite	Curit
curium	Curium
cuve	Behälter
cyclage thermique	Temperaturwechsel

cycle	Kreislauf
cycle de combustible	Brennstoffzyklus
cycle de refroidissement	Kühlmittelkreislauf
cycle de régénération de combustible	Brennstoffwieder-aufarbeitung
cycle de transfert de chaleur	Wärmekreislauf
cycle du plutonium	Plutoniumkreislauf
cycle du thorium	Thoriumkreislauf
cycle fermé	geschlossener Kreislauf
cycle ouvert	offener Kreislauf
cycle thermique	Wärmekreislauf
cycle thermodynamique	Kreisprozeß
cyclohexanone	Zyklohexanon
cyclone	Zyklon
cyclotron	Zyklotron
cylindre à vapeur	Dampftrommel
cystéine	Cystein
cytoplasme	Zytoplasma

D

dé	Dee
débit	Durchfluß
débit du fluide de refroidissement	Kühlmitteldurchsatz
débit masse	Massendurchsatz
débit-mètre de coups	Zählgerät
débit-mètre de dose	Dosisleistungsmesser
débit poids	Gewichtsdurchsatz
décaline	Dekalin
décantation	Absatz, dekantieren
décapage	Beizung
décarboxylation	Decarboxylieren
décharge à courant continu (dans un gaz)	Gleichstrom-Glimm-entladung
décharge en lumeur à courant continu	Gleichstrom-Glimm-Entladung

décharge secondaire	Nachentladung
déchets	Abfall
déchets chimique	chemische Abfälle
déchets radioactifs	radioaktiver Abfall
déchirure de bord	Kanteneinriß
déclenchement d'urgence	Notabschaltung
déclenchement par vidange	Schnellablaß
déclenchement rapide	Schnellschluß
déclencher	Abschalten
décollement	Kaltschweißung
décomposition	Vielfachzerlegung
décontamination	Dekontamination, Entseuchung
décroissance radioactive	radioaktiver Zerfall
découpeur périodique	Chopper
découpeur stroboscopique	Chopper
défaut de Frenkel	Frenkel-Defekt
défaut de masse	Massendefekt
défaut du réseau	Gitterfehlstelle
défet d'irradiation	Strahlenschaden
déflecteur	Deflektor
déflection, syn. déviation	Ablenkung
déformabilité	Verformbarkeit
déformation critique	kritische Deformation
dégât, syn. dommage	Schaden
dégâts dûs aux radiations	Strahlenschaden
dégâts par rayonnement	Strahlenschaden
degré de concentration	Verstärkungsverhältnis
degré d'épuisement	Abbrand
délai de déclenchement	Abschaltverzögerung
délai de retour au régime normal	Rückholzeit
démarrage	Start, Anfahren
démarrage manuel	Handstart
dématérialisation	Dematerialisation
déminéralisateur	Entsalzer
demi-vie	Halbwertszeit
demi-vie biologique	biologische Halbwertszeit
démultiplicateur	Untersetzer
démultiplicateur binaire	Binäruntersetzer
démultiplicateur décimal	Dezimaluntersetzer

dénaturation	Denaturierung, Vergällung
dendrite	Dentrit
densité de courant	Stromdichte
densité de flux	Stromdichte
densité de la probabilité	Wahrscheinlichkeitsdichte
densité de la réactivité	Reaktivitätsdichte
densité de puissance	Leistungsdichte
densité de ralentissement	Bremsdichte
densité de rayonnement	Strahlungsdichte
densité des chocs	Stoßdichte
densité des neutrons	Neutronendichte
densité des sources	Quelldichte
densité d'ionisation	Ionisationsdichte
densité du noyau	Kerndichte
densité ionique	Ionendichte
densité neutronique	Neutronendichte
densité par unité de surface	Flächengewicht
densitomètre	Densitometer, Dichtemesser
d'épaisseur infinie	unendlich dick
dépassement	Überschlag
dépendance des forces nucléaires de la charge	Ladungsabhängigkeit der Kernkräfte
dépendant de temps	zeitabhängig
dépenses de combustible	Brennstoffkosten
déplacement électrolytique	elektrolytische Verdrängung
dépôt électrolytique	elektrolytischer Niederschlag, elektr. Abscheidung
dépôt radioactif	radioaktiver Niederschlag
dépoussiérage	Sichten (bei Gasen)
dépoussiéreur	Entstäuber
dérivateur	Differenziergerät
dérive	Drift, Verschiebung
dérivé	Abkömmling
désactivation	Abkühlen, radioaktive Entseuchung

désadsorption	Desorption
descendant	Zerfallsprodukt, Abkömmling
descontinuité d'absorption	Absorptionskante
désintégration	Zerfall
désintégration alpha	Alpha-Zerfall
désintégration artificielle des noyaux	künstliche Kernzertrümmerung
désintégration avec émission des positrons	Positronenzerfall
désintégration bêta	Beta-Zerfall
désintégration bêtadouble	doppelter Beta-Zerfall
désintégration des neutrons	Neutronenzerfall
désintégration du noyau	Kernzerfall
désintégration gamma	Gamma-Zerfall
désintégration héliogène	Alpha-Zerfall
désintégration positogène	Positronenzerfall
désintégration radioactive	radioaktiver Zerfall
désintégration radioactive artificielle	künstlich radioaktiver Zerfall
désintégration radioactive spontanée	spontaner radioaktiver Zerfall
désorption	Desorption
dessication par sublimation de la glace (cryodessication)	Gefriertrocknung
dessin de réacteur	Reaktor-Entwurf
destruction des déchets	Abfallbeseitigung
détecteur	Anzeigeinstrument, Detektor
détecteur à cristal	Kristalldetektor
détecteur à potassium	Kalimeßgerät
détecteur à seuil	Schwellendetektor
détecteur de fuites	Lecksucher
détecteur de la radioactivité de l'air	Luftmonitor
détecteur de neutrons	Neutronendetektor
détecteur de rayonnement	Strahlendetektor, Strahlenanzeiger

détecteur de Szilard et Chalmers	Szilard-Chalmers-Detektor
détecteur local	Ortsstrahlungsanzeiger
détecteur non directionnel	richtungsunabhängiger Zähler
détection	Nachweis
détection de rupture de gaines	Hülsenüberwachung
détection des fruites par l'hélium	Helium-Leckprüfung
détente	Anfahren
détérioration du combustible	Brennstoffschäden
détermination de densité	Dichtebestimmung
détermination du poids atomique	Atomgewichtsbestimmung
deutérium	Deuterium
deutéron	Deuteron
deuton	Deuteron
déviation	Ablenkung
déviation des électrons	Elektronenbeugung
déviation électrique	elektrische Ablenkung
déviation magnétique	magnetische Ablenkung
dewindtite	Dewindtit
diagramme de Fermi	Fermidiagramm
diagramme des isodoses	Isodosenkurven
diagramme des phases	Phasendiagramm
diagramme d'états	Zustandsbild, Phasendiagramm
diamagnétisme	Diamagnetismus
diamètre équivalent	gleichwertiger Durchmesser
diamètre nucléaire	Kerndurchmesser
diapason de vitesse	Geschwindigkeitsbereich
diapason d'énergie	Energiebereich
diaphragme	Blende
diaphragme de séparation	Trenndüse
dichlorediéthyléther	Dichlordiäthyläther
diéthyléther	Diäthyläther
diffraction électronique	Elektroneninterferenz
diffraction multiple	Vielfachstreuung
diffraction neutronique	Neutronenbeugung

diffuseur	diffundierender Stoff
diffusion	Diffusion, Streuung
diffusion ambipolaire	ambipolare Diffusion
diffusion aux grands angles	Weitwinkelstreuung
diffusion cohérente	kohärente Streuung
diffusion de convection	konvektive Diffusion
diffusion de groupe	Gruppendiffusion
diffusion de molécules libres	Knudsenströmung
diffusion de neutrons	Neutronenstreuung
diffusion due à l'effet Compton	Compton-Streuung
diffusion élastique	elastische Streuung
diffusion en avant	Vorwärts-Streuung
diffusion en retour	Rückstreuung
diffusion gazeuse	Gas-Diffusion
diffusion incohérente	inkohärente Streuung
diffusion inélastique	unelastische Streuung
diffusion isotropique	isotrope Streuung
diffusion moléculaire	Molekül-Diffusion
diffusion par résonance	Resonanz-Streuung
diffusion thermique	Thermodiffusion
diffusion unique	Einfach-Streuung
dilution isotopique	Isotopen-Verdünnung
dimension, à une	eindimensional
dimension critique	kritische Größe
dimension du réseau	Gitterabmessung
dioxyde de carbone	Kohlendioxyd
diphényl	Diphenyl
diploïde	Diploid
dipôle	Dipol
dipôle magnétique	magnetischer Dipol
discontinuité d'absorption	Absorptionskante
discriminateur	Diskriminator
discriminateur d'amplitudes, syn. d. de la hauteur d'impulsions	Impulshöhendiskriminator
discriminateur de temps	Zeitdiskriminator
discrimination	Impulshöhenanalyse
dislocation	Versetzung

dislocation-coin	Stufenversetzung
dispersion	Streuung, Dispersion
dispersion potentielle	Potential-Streuung
dispositif	System, Anlage, Einrichtung
dispositif d'accouplement	Verriegelungssystem
dispositif de commande	Steuersystem
dispositif de compensation	Kompensationsvorrichtung
dispositif de déchargement de combustible	Entladungsmaschine
dispositif de détection des éléments combustible endommagés	Schnüffelanlage
dispositif de diffraction	Ablenkvorrichtung
dispositif de mesure	Meßeinrichtungen
dispositif de refroidissement de réserve (de secours, d'urgence)	Notkühlkreislauf, Notkühlanlage
dispositif de réglage	automatische Regeleinrichtung
dispositif de sécurité	Sicherheitsvorrichtung
dispositif de télé-manipulation	Fernbetätigungseinrichtung
dispositif des ruptures de gaine	Schnüffelanlage
dispositif d'étrangement	Drosseln
dissipation de l'énergie	Energieverlust
dissociation	Dissoziation
dissolution	Lösung
dissolution anodique	anodische Auflösung
dissolution chimique	chemische Auflösung
distance des noyaux	Kernabstand
distance d'extrapolation linéaire	Extrapolationsstrecke
distillat	Destillat
distillat de tête	Destillationsprodukt
distillation	Destillation
distillation à contre-courant	Gegenstrom-Destillation

distillation en discontinue	diskontinuierliche Destillation
distillation extractive	Extraktions-Destillation
distillation fractionée	fraktionierte Destillation
distillation intermittente	diskontinuierliche Destillation
distillation moléculaire	Molekulardestillation
distribution	Verteilung
distribution angulaire	Winkelverteilung
distribution de granulation	Korngrößenverteilung
distribution de température	Temperaturverteilung
distribution de vitesse	Geschwindigkeitsverteilung
distribution des sources de chaleur	Wärmequellenverteilung
distribution d'impulsions	Impulsverteilung
distribution du flux	Flußverteilung
distribution énergétique	Energieverteilung
diuranate d'ammonium	Ammoniumdiuranat
divergence	Divergenz
divergence angulaire	Winkelabweichung
division du chromosome	Chromosomenteilung
division réductrice	Reduktionsteilung
DNA	DNS
domaine de compensation	Ausgleichsbereich
domaine de Geiger	Auslösebereich
domaine de mesure	Meßbereich
domaine de régulation	Steuerhub
domaine d'énergie thermique	thermischer Energiebereich
dominant	dominant
dommage dû au bombardement corpusculaire	Beschußschaden
dommage dû aux radiations	Strahlenschaden
dommage par la température	Temperaturschaden
dosage, syn. dosimétrie	Dosimetrie
dosage chimique	chemische Dosimetrie

dose	Dosis
dose admissible	Toleranzdosis, Gefährdungsdosis
dose cumulative	kumulative Dosis
dose cutanée	Oberflächendosis
dose dans l'air	Luftdosis
dose dans le tissu	Gewebedosis
dose de l'expulsion	Austrittsdosis
dose de peau	Hautdosis
dose de rayonnement	Bestrahlungsdosis
dose de seuil	Schwellendosis
dose de tolérance	Toleranzdosis
dose d'épalition	Epilationsdosis
dose d'érythème	Erythemdosis
dose d'irradiation	Bestrahlungsdosis
dose d'organ	Organdosis
dose en profondeur	Tiefendosis
dose en surface	Oberflächendosis
dose fractionnée	fraktionierte Dosis
dose hebdomadaire	Wochendosis
dose hebdomadaire permise	zulässige Wochendosis
dose incidente	Einfalldosis
dose intégrale	Gesamtdosis, Integraldosis
dose ionique	Ionen- oder Ladungsdosis
dose létale	Letaldosis
dose létale moyenne	mittl. tödliche Dosis (LD 50)
dose local	Ortsdosis
dose local absorbée	Organdosis
dose maximal tolerée	Toleranzdosis
dose mortelle moyenne	mittl. tödliche Dosis (LD 50)
dose par semaine	Wochendosis
dose permise	zulässige Dosis
dose personnelle	Personendosis
dose profonde	Tiefendosis
dose résiduelle directe	Austrittsdosis
dose superficielle	Oberflächendosis
dose tissulaire	Gewebedosis
dose tolérable	zulässige Dosis

dose unitaire, syn. effet dose	Dosisleistung
dose volume	Volumendosis
dosimètre	Dosismeßgerät
dosimètre à deux phases	Zweiphasendosimeter
dosimètre colorimétrique	Farbdosimeter
dosimètre de poche	Taschendosimeter
dosimètre de Fricke	Fricke-Dosimeter
dosimètre en phase uniques	Einphasendosimeter
dosimètre individuel	Individualdosimeter
	Kondensatorkammer, Kondensator-Dosismesser
dosimétrie	Dosismessung
dosimétrie du personnel	Individualdosimetrie
double chambre à ionisation	Doppelionisationskammer
double focalisation	Doppelfokussierung
droit nucléaire	Atomenergierecht
dualisme ondes-particules	Dualismus von Welle und Teilchen
dumontite	Dumontit
durcissement	Verfestigung
durcissement du spectre de neutrons	Härtung des Neutronenspektrums
durcissement par vieillissement	Altershärten
durcissement structural	Aushärten (Alterung)
durée de parcours	Laufzeit
durée de rétablissement	Erholungszeit
durée d'état excité	Lebensdauer eines angeregten Zustandes
durée d'irradiation	Bestrahlungszeit
durée d'une génération	Generationsdauer
dureté	Härte
dureté Brinell	Brinellhärte
dureté Rockwell	Rockwellhärte
dureté Vickers	Vickershärte
dynamique des réacteurs	Reaktionsdynamik

E

eau de cristallisation	Kristallwasser
eau de refroidissement	Kühlwasser
eau lourde	schweres Wasser
eau oxygénée	Wasserstoffperoxyd
eau radioactivée	aktiviertes Wasser
eaux-mères	wäßrige Primärlösung
ébullition	Sieden, Blasenverdampfung
écart	Ablenkung, Abweichung
écarts d'extrapolation	Extrapolationsstrecke
échange	Austausch
échange au régime turbulent	turbulenter Austausch
échange de chaleur	Wärmeaustausch
échange de matière	Stoffaustausch, Stoffübergang
échange ionique	Ionenaustausch
échange isotopique	Isotopenaustausch
échangeur de chaleur	Wärmetauscher
échangeur d'ions	Ionenaustauscher
échantillonnage	Probenahme
échauffement excessif	Temperaturüberschlag
échelle	Maßstab, Zähler, Zählgerät
échelle à décades	Dekadenzähler
échelle binaire	Dualzähler
échelle des masses	Massenskala
éclatement du noyau	Kernexplosion
éclatement nucléaire	Kernexplosion
écluse des isotopes	Isotopenschleuse
économie des neutrons	Neutronenhaushalt Neutronenökonomie
écoulement	1. Strömung 2. Diffusion
écoulement incompressible	inkompressible Strömung
écoulement laminaire	laminare Strömung
écoulement turbulent	turbulente Strömung
écran	Schild

écran à remplissage grossier, à structure grossière	Lunkerschild
écran à sels métalliques en solution aqueuse	Metall-Wasser-Schild
écran au platinocyanure de barium	Barium-Platinzyanür-Schirm
écran de plomb	Bleischirm
écran de protection	Abschirmung
écran fluorescent	Leuchtschirm
écran limiteur	Strahlfänger
écran partiel	Schattenschild
écran poreux	Lunkerschild
écran renforçateur	Verstärkerfolie
écrouïssage	Versprödung
effet Auger	Augereffekt
effet Compton	Compton Effekt
effet d'écran	Schirmwirkung
effet de cage	Käfigeffekt
effet de contraction magnétique	Pinch-Effekt
effet de cristal	Kristalleffekt
effet de fission rapide	Einfluß der schnellen Spaltung
effet de la concentration	Konzentrationseffekt
effet de liaison chimique	Einfluß der chem. Bindung
effet de protection	Schutzeffekt
effet de saturation	Sättigungseffekt
effet de surface	Oberflächeneffekt
effet de tassement	Packungseffekt
effet de transfert	Überführungseffekt, Übertragungseffekt
effet de transition	Übergangseffekt
effet de tunnel	Tunneleffekt
effet d'ionisation	Ionisationseffekt
effet direct	direkter Effekt
effet d'ombre	Einfluß der Abschirmung, Schildwirkung
effet dose	Dosisleistung
effet du rayonnement	Strahlenwirkung

effet génétique du rayonnement	genetische Strahlenwirkung
effet Häffner	Häffnereffekt
effet indirect	indirekter Effekt
effet isotopique	Isotopeneffekt
effet Knudsen	Knudseneffekt
effet Malter	Malter-Effekt
effet Paetow	Pätow-Effekt
effet photoélectrique	lichtelektrischer Effekt
effet photonucléaire	Kernphotoeffekt
effet Soret	Soret-Effekt
effet Szilard-Chalmers	Szilard-Chalmers-Effekt
effet toxique	Giftwirkung
effet tunnel	Tunneleffekt
effet Wigner	Wigner Effekt
efficacité	Wirksamkeit, Ausbeute
efficacité biologique relative	relative biologische Wirksamkeit
efficacité chimique	chemische Ausbeute
efficacité de réglage	Steuerkennlinie
efficacité totale	Gesamtausbeute
effluent	(austretende) Strömung
effort de cisaillement critique	kritische Schubspannung
effort de tension thermique	Wärmespannung
effort mécanique	mechanische Belastung
égal à celui de l'air	Luftäquivalent
égalisation (nivellement) de la température	Temperaturabflachung
égalité de conduction	Wärmeleitungsgleichung
einsteinium	Einsteinium
élargissement	Verbreiterung
élargissment des raies, é. des lignes	Linienverbreiterung
élasticité	Elastizität
électrode d'accélération	Beschleunigungselektrode
électrode de garde	Schutzelektrode
électro-galvanisation	Galvanisierung, elektrolytische Metallabscheidung

électrolyse à contre-courant	Gegenstromelektrolyse
électrolyse pour la séparation des isotopes	Elektrolyse zur Trennung von Isotopen
électromètre	Elektrometer
électromigration	Elektromigration
électron	Elektron
électron Compton	Compton-Elektron
électron de conversion	Konversionselektron
électron de désintégration bêta	Beta-Zerfallselektron
électron de désintégration nucléaire	Kernzerfallelektron
électron de fluorescence	Leuchtelektron
électron de recul	Rückstoßelektron
électron de valence	Valenzelektron
électron excité	Leuchtelektron
électron secondaire	Sekundärelektron
électron tournant	Elektron mit Spin
électron-volt	Elektronenvolt
électronique	elektronisch
électrophorèse	Elektrophorese
électroscope de Lauritsen	Lauritsen-Elektroskop
élément combustible	Brennstoffelement
élément combustible irradié	bestrahlter Brennstoff
élément combustible métallique	metallisches Brennstoffelement
élément constitutif du noyau	Kernbaustein
élément de combustible	Brennstoffelement
élément de commande	Steuerung, Regelstab
élément de la diagonale	Diagonalelement
élément de matrice	Matrix-Element
élément de matrice diagonal	Diagonalelement
élément de pile thermoélectrique	Thermokraftelement
élément dérivé	Folgeprodukt
élément d'Ohmart	Ohmartzelle
élément enfanté	Tochtersubstanz, Zerfallsprodukt

élément engendré	Folgeprodukt
élément fertile	brütbares Element, Brutstoff
élément impur	unreines Element
élément marqué	Indikator, markiertes Element
élément mère	Ausgangselement
élément original	Ausgangselement
élément pur	Reinelement
élément radioactif artificiel	künstlich radioaktives Element
élément séparateur	Trennelement
élément traceur	Indikator, markiertes Element, Leitisotop
élément transuranien	Transuran
élimination des déchets	Abfallbeseitigung
élutriation, élution	Elution
émanation	Emanation
emballer (s')	durchgehen (eines Reaktors)
emboutissage	Tiefziehen
embranchement	Verzweigung
embrayage de déclenchement	Abschaltkupplung
émetteur alpha, e. bêta	Alpha-(Beta-) Strahler
émetteur d'electrons	Elektronenstrahler
émetteur de neutrons	Neutronenstrahler
émetteur de neutrons retardés	Mutterkern (der verzög. Neutronen)
émiettement nucléaire	Kernverdampfung
émission alpha, e. bêta	Alpha-(Beta-) Strahlung
émission de corpuscules associés	zugeordnete Korpuskularstrahlung
émission de neutrons	Neutronenemission
émission de positrons	Positronenemission
émission d'électrons	Elektronenemission
émission d'énergie	Energieabstrahlung
émission d'une paire	Paarerzeugung
émission quantique	Quantenemission
émission successive de particules bêta	sukzessive Beta-Emission
emmagasinage	Sammelbehälter

empoisonnement brûtal	Vergiftungsüberschlag
empoisonnement de la pile	Reaktorvergiftung
empoisonnement du combustible	Brennstoffvergiftung
empoisonnement par le samarium	Samariumvergiftung
empoisonnement par le xénon	Xenonvergiftung
émulsion nucléaire	Kernemulsion
émulsion photographique	photographische Emulsion
enceinte sous pression	Druckgefäß
endothermique	endotherm
énergie à seuil	Schwellenenergie
énergie atomique	Atomenergie
énergie au repos	Ruhenergie
énergie critique	kritische Energie
énergie critique de déformation	kritische Verformungsenergie
énergie critique de fission	kritische Spaltungsenergie
énergie d'absorption par résonance	Resonanzabsorptionsenergie
énergie d'activation	Aktivierungsenergie
énergie de désintégration nucléaire	Zerfallsenergie
énergie de fission	Spaltenergie
énergie de la réaction	Reaktionsenergie
énergie de liason	Bindungsenergie
énergie de répulsion	Rückstoßenergie
énergie de résonance	Resonanzenergie
énergie de séparation	Abtrennarbeit
énergie de Wigner	Wigner-Energie
énergie d'excitation	Anregungsenergie
énergie d'ionisation	Ionisierungsenergie
énergie d'une réaction nucléaire	Energietönung von Kernprozessen
énergie du neutron	Neutronen-Bindungsenergie
énergie électrique	elektrische Energie
énergie emmagasinée	gespeicherte Energie

énergie initiale	Anfangsenergie
énergie neutronique	Neutronenenergie
énergie nucléaire	Kernenergie
énergie photonique	Photonenenergie
énergie potentielle de Coulomb	Coulomb-Energie
énergie quantique	Quantenenergie
énergie radiante	Strahlungsenergie
énergie thermique	Wärmeenergie
énergie thermique moyenne	mittl. thermische Energie
énergie volumétrique	Volumenenergie
énertie magnétique	magnetische Steifigkeit
enrégistreur linéaire de puissance	linearer Leistungsschreiber
enrégistreur logarithmique de puissance	logarithmischer Leistungsschreiber
enrichissement	Anreicherung
enrichissement du cœur	Spicken der Spaltzone
enrichissement du combustible	Brennstoffanreicherung
entonnoir	Trichter
entraînement à la vapeur	Dampfdestillation
entraîneur	Träger
entraîneur de rétention	Rückhalteträger
entrechoquer (s')	zusammenstoßen
entrecroisement chromosomique	Kreuzung (biologisch)
entrer en collision	zusammenstoßen
enveloppe, syn. gaine	Hülse
enveloppe de protection	Schutzgehäuse
enveloppe d'uranium	Brennstoffhülse
enveloppe étanche aux gaz	gasdichte Hülse
enveloppe régénératrice	Brutraum
enveloppement	einhüllen, umhüllen
épaisseur d'arrêt équivalente	Bremsäquivalent
épaisseur de demi-absorption interne (propre)	Selbstabsorption-Halbwertsdicke
épaisseur de réduction 1/10	Zehntelwertschicht

épaisseur d'intensité moitié, é.-moitié	Halbwertsdicke
épaisseur du blindage	Abschirmdicke
épaufrement	Kernzersplitterung
épicadmium	Epikadmium
épilation	Haarausfall
épithélium	Epithel
épithermique	epithermisch
épreuve de pression d'eau	Druckwassertest
épuration	Reinigung
épuration de gaz	Gaswäsche
équation asymptotique de réacteur	asymptotische Reaktorgleichung
équation caractéristique	charakteristische Gleichung, Zustandsgleichung
équation cinétique	kinetische Gleichung
équation critique	kritische Gleichung
équation d'âge de Fermi	Fermische Altersgleichung
équation de Boltzmann	Boltzmann-Gleichung
équation de continuité	Kontinuitätsgleichung
équation de diffusion	Diffusionsgleichung
équation de l'âge	Fermische Altersgleichung
équation de Liouville	Liouville-Gleichung
équation de ralentissement	Bremsgleichung
équation de transport	Transportgleichung
équation d'état	Zustandsgleichung
équation d'onde	Wellengleichung
équation du réacteur	Reaktorgleichung
équation du réacteur adjointe	adjungierte Reaktorgleichung
équation du réacteur généralisée	allgemeine Reaktorgleichung
équation hydro-magnétique	hydromagnetische Gleichung
équation intégrale de la diffusion de neutrons	Integralgleichung der Neutronendiffusion

équation opérationelle	Operatorgleichung
équilibre isotopique	Isotopengleichgewicht
équilibre métastable	metastabiles Gleichgewicht
équilibre radioactif	radioaktives Gleichgewicht
équipement pour manipulation à distance	indirekt gewartete Prozeßanlage
équivalence de l'énergie et de la masse	Masse-Energie-Äquivalent
équivalence de plomb	Bleigleichwert
équivalence masse-énergie	Masse-Energie-Äquivalent
équivalent-air	Luftäquivalent
équivalent (de) bore	Boräquivalent
équivalent du roentgen	Röntgenäquivalent
équivalent énergétique	Energieäquivalent
équivalent en plomb	Bleiäquivalent
erreur de diffusion en retour	Unterlagefehler
erreur de mesure	Meßfehler (bei radioaktiven Messungen)
erreur par diffusion	Streufehler
erreur par diffusion (en retour) du support	Rückstreufehler
erreur par diffusion sur le support	Unterlagefehler
erreur statistique	statistischer Fehler
érythême	Erythem
espèce atomique	Atomart
espèce de fission	Spaltprodukt
espérance de fission itérée	iterierte Spalterwartung
essai à vide, e. à blanc	Leerversuch, Blindversuch
essai au choc sur l'entaille Izod	Izod-Kerbschlagprobe
essai au mouton-pendule Charpy	Charpysche Pendelschlagprobe
essai chimique	chemischer Versuch
essai de boudier	Schirmprüfung
essai de fatique	Dauerversuch
essai de flexion	Biegeversuch

essai de fluage	Standversuch
essai de matériel en pile	Materialprüfung im Reaktor
essai de traction	Zugversuch
essai de volume	Kompressionsversuch
essai d'emboutissage	Tiefungsprüfung
essai des matériaux	Materialprüfung
essoreuse	Zentrifuge
estampage	Fließpressen
estampage à froid	Kaltpressen
étage	Boden
étage théorique	theoretischer Boden
étain	Zinn
étalement de la dose	Dosisprotrahierung
étalon radioactif	radioaktives Standardpräparat
étanche au gaz	gasdicht
état	Zustand
état d'excitation	Anregungszustand
état fondamental	Grundzustand
état normal	Grundzustand
état propre	Eigenzustand
état S	S-Zustand
état stationnaire	stationärer Zustand
étirage	ziehen
europium	Europium
eutectique	Eutektikum
euxénite	Euxenit
évacuation des déchets	Abfallbeseitigung
évaporation	Eindampfen, Verdampfen
évaporation du noyau	Kernverdampfung
excédent de réactivité	Reaktivitätsüberschuß
excès	Überschuß, Überschlag
excès de neutrons	Neutronenüberschuß
excès de température	Temperaturüberschlag
excès d'énergie	Energieüberschuß
excitation	Anregung
excitation du noyau	Kernanregung
excitation par lumière	Photo-Anregung
exhaust vapeur	Brüden

exigences du point de vue de la sécurité	Sicherheitsforderungen
exothermique	exothermisch
expansion	Ausdehnung
expérience	Experiment, Versuch
expérience avec un réacteur à sodium	Natriumreaktor-Versuch
expérience critique	kritisches Experiment
expérience de comparaison	Vergleichsmessung
expérience exponentielle	Exponentialexperiment
exploitation minière	Erzbergbau
explosifs atomiques	Atomsprengstoffe
explosion atomique	Atomexplosion
explosion nucléaire	Kernexplosion
exposition aux radiations	Bestrahlung
extinction	Löschung
extraction	Extraktion
extraction du minerai	Erzaufbereitung
extraction liquide-liquide	flüssig-flüssig-Extraktion
extraction par dissolvant	Solventextraktion
extraction par éther	Ätherextraktionsprozeß
extraction par partage	Flüssig-flüssig-Extraktion
extraction par sels fondus	Salzschmelzextraktion
extraction par solvant	Solventextraktion

F

façonnage à chaud	Warmverformung
façonnage à froid	Kaltverformung
facteur (atomique) de forme	Atomformfaktor
facteur d'affaiblissement	Schwächungskoeffizient
facteur d'atténuation	Schwächungskoeffizient
facteur de conversion	Konversionsgrad
facteur de correction	Korrekturfaktor, Zuwachsfaktor
facteur de décontamination	Entgiftungsfaktor

facteur de désavantage	Absenkungsfaktor
facteur de forme	Formfaktor
facteur de la géométrie	Geometriefaktor
facteur de multiplication	Multiplikationsfaktor
facteur de multiplication de neutrons	Neutronenvermehrungsfaktor
facteur de multiplication effectif	effektiver Vermehrungsfaktor
facteur de multiplication excessif (excédentaire)	Überschußvermehrung
facteur de multiplication généralisé	verallgemeinter Multiplikationsfaktor
facteur de multiplication (en milieu) infini	unendlicher Vermehrungsfaktor
facteur de multiplication rapide	Schnellspaltfaktor
facteur de multiplication subcritique	Quellverstärkung
facteur de pile	Pile-Faktor
facteur de sécurité pour prévenir la surchauffe d'un canal	Kühlkanalfaktor
facteur de séparation	Trennfaktor
facteur de temps	Zeitfaktor
facteur de transfert	Übertragungsfaktor
facteur de transport	Transportfaktor
facteur d'efficacité thermique	thermischer Nutzungsgrad
facteur d'enrichissement	Anreicherungsgrad, Trennfaktor
facteur d'enrichissement d'un procédé idéal à étage unique	idealer Trennfaktor der Einzelstufe
facteur d'enrichissement total par étage	totale, effektive Anreicherung pro Stufe
facteur d'enrichissement unitaire	Trennfaktor der Einzelstufe
facteur d'exposition	Expositionsfaktor
facteur d'intégration	Skalenfaktor, integrierender Faktor
facteur d'irradiation optimale	optimales Bestrahlungsverhältnis

facteur d'utilisation thermique	thermischer Nutzfaktor
facteur intrinséque de séparation	max. thermischer Trennfaktor
faisceau	Strahl
faisceau diffusé	Streustrahlung
faisceau de neutrons	Neutronenstrahl
faisceau du cyclotron	Zyklotron-Strahl
famille de l'actinium	Aktiniumreihe
famille de l'uranium	Uranreihe
famille du neptunium	Neptuniumreihe
famille du thorium	Thoriumreihe
famille radioactive	radioaktive Zerfallsreihe
fantôme	Phantom
fatigue	Ermüdung
félage	Fließpressen
fer	Eisen
ferment de la respiration	Atmungsferment
fermeture	Abschalten
fermion	Fermion
fermium	Fermium
ferrite	Alpha-Eisen (Ferrit)
fertile	brütbar
feuille mince	dünne Folie
filage, f. sous pression	Strangpressen
filiation radioactive	radioaktive Verwandtschaft
film de contrôle	Film-Dosimeter
film du personnel	Film-Dosimeter
filon	Erzgang (-Ader)
filtrat	Filtrat
filtration	Filterung
filtration de gaz	Gasfiltration
filtre	Filter, Absorptionsfolie
filtre à aérosols	absoluter Filter, Aerosolfilter
filtre à la silice	Kieselgurfilter
filtre à sable	Sandfilter
filtre au carbon (activé)	Aktiv-Kohle-Filter
filtre au kieselgur	Kieselgurfilter
filtre de masses	Massenfilter

filtre en fibre de verre	Fiberglasfilter
fissile	spaltbar
fission	Spaltung, Kernspaltung
fission de l'uranium	Uranspaltung
fission nucléaire	Kernspaltung
fission par capture de neutrons	Spaltung durch Neutroneneinfang
fission par neutrons rapides	schnelle Spaltung
fission par neutrons thermiques	thermische Spaltung
fission spontanée	spontane Spaltung
fission ternaire	ternäre Spaltung (in 3 Bruchstücke)
flattening	Flußabflachung
flottage, flottation	Flotation
flou de mouvement	Bewegungsunschärfe
fluage	Fließen, kriechen
fluctuation de réactivité	Reaktivitätsoszillation
fluctuation statistique	statistische Schwankung
fluide de l'échangeur thermique	Strömung im Wärmeaustauscher
fluide de refroidissement	Kühlmittel
fluide évacuateur de chaleur	Kühlmittel, Arbeitsmedium
fluidiser	verflüssigen
fluorescence	Fluoreszenz
fluorhydratation	Fluorierung
fluoruration	Fluorierung
fluoruration de l'uranium	Uran-Fluorierung
fluorure d'aluminium	Aluminiumfluorid
fluorures d'uranium	Uranfluoride
flux	Fluß
flux de chaleur	Wärmefluß
flux de la source	Quellfluß
flux de neutrons	Neutronenfluß
flux de radiation	Strahlungsstrom
flux de résonance	Resonanzfluß
flux microscopique	mikroskopischer Fluß
flux neutronique	Neutronenfluß
flux neutronique intégré	integraler Neutronenfluß

flux neutronique relatif	relativer Neutronenfluß
flux vectoriel	Vektorfluß
flux vierge	jungfräulicher Fluß
focalisation	Fokussierung
focalisation de vitesse	Geschwindigkeitsfokussierung
focalisation des directions	Richtungsfokussierung
follicules lymphoïdes	Lymphknoten
fonction adjointe	adjungierte Funktion
fonction d'amplitude	Amplitudenfunktion
fonction de distribution	Verteilungsfunktion
fonction de Gauß	Gauß'sche Fehlerfunktion
fonction de poids	Gewichtsfunktion
fonction de pondération	Gewichtsfunktion
fonction de transfert	Übertragungsfunktion, Frequenzgang
fonction de transition	Übergangsfunktion
fonction de valeur	Wertfunktion
fonction delta	Delta-Funktion
fonction d'erreur de Gauss	Gauß'sche Fehlerfunktion
fonction d'excitation	Anregungsfunktion
fonction d'importance	Einflußfunktion
fonction d'ionisation	Ionisierungsfunktion
fonction d'onde	Wellenfunktion
fonction intégrale	Integral
fonction propre	Eigenfunktion
fond centime, f. continu	Untergrund
fondant	Flußmittel
fondre	durchbrennen
fonte	Gußeisen
fonte malléable	Temperguß
fonte rouge	Rotguß
force à courte portée	Kraft kurzer Reichweite
force attractive	Anziehungskraft
force centrale	Zentralkraft
force centrifuge	Zentrifugalkraft
force d'attraction	Anziehungskraft
force de Bartlett	Bartlett-Kraft
force de cohésion	Kohäsionskraft
force de Coulomb	Coulomb-Kraft
force de frottement	Reibungskraft

force de Majorana	Majorana-Kraft
force de répulsion	Abstoßkraft
force d'échange	Austauschkraft
force électromotrice (f.e.m.) locale	Lokalelement
force non-centrale	Nicht-Zentralkraft
force nucléaire	Kernkraft
formation de germes	Keimbildung
formule à quatre facteurs	Vierfaktorenformel
formule de Breit et Wigner	Breit-Wigner-Formel
formule de conversion de l'énergie	Energiesatz
formule de diffusion	Streuformel
formule de masse semi-empirique	halbempirische Massenbeziehung
formule de réaction	Reaktionsformel
formule de réaction nucléaire	Kernreaktionsformel
formule d'une serie	Serienformel
formule hématologique	Blutbild
formule leucocytaire	Blutbild, Zahl der weißen Blutkörperchen
formule massique	Massenbeziehung
formule sanguine	Blutbild
formule sanguine développé	Differential-Blutbild
fosse de rebut radioactif	Abfall-Lagerstätte
fournées continues	kontinuierlicher Betrieb
fournées intermittentes	Chargenbetrieb, aussetzender Betrieb
foyer linéaire	Strichfokus
fraction de conversion	Konversionsgrad
fraction de tassement	Packungsanteil
fractionnement de la dose	Dosis-Fraktionierung
fragilité	Versprödung
fragment de fission	Spaltprodukt
fragment de spallation	Spaltprodukt, Kernbruchstück
francium, Fr	Francium, Fr
fréquence de Larmor	Larmorfrequenz
fréquence limite	Grenzfrequenz
friction	Reibung

frittage	Sintern, Sintermetallurgie
frittage sous pression	Drucksintern
fritte	Kalzinierung
fritzschéite	Fritzscheit
front de chargement	Beschickungsseite
frottement interne	innere Reibung
fuite des neutrons	Neutronenausfluß
fumées radioactives	radioaktive Abgase
fusion	Fusion
fusion nucléaire	Fusion, Kernverschmelzung
fusion sous vide poussé	Hochvakuumschmelzen

G

gain de breeding	Brutgewinn
gainage	Einhüllung
gaine	Hülse
gaine du combustible	Brennstoffumhüllung
gaine libre	Hülse
galène	Galenit
gallium	Gallium
gamma prompt	promptes Gammaquant
gammagraphie	Röntgenographie
gammamètre	Gammameter
gammaphone	Gammaphon
gammas de fission	Spaltgammastrahlen
gamme	Bereich
gamme d'énergies	Energiebereich
gamme de la période	Periodenbereich
gamme de la puissance	Leistungsbereich
gamme de proportionnalité	Proportionalitätsbereich
gamme de vitesses	Geschwindigkeitsbereich
gamme des sources	Quellbereich
gaz carbonique	Kohlendioxyd

gaz de Fermi	Fermi-Gas
gaz de ventilation	Spülgas
gaz des fumées	Rauchgas
gaz parfait	ideales Gas
gaz inerte	inaktives Gas
gaz noble	Edelgas
gaz radioactif	radioaktives Abgas
gaz rare	inaktives Gas
gaz toxique	Giftgas
gaz utilisé	Arbeitsgas
gène	Gen
générateur à bande	Bandgenerator
générateur à impulsions doubles	Doppel-Impuls-Generator
générateur de neutrons	Neutronenquelle
générateur de pression	Druckerzeuger
générateur de vapeur	Dampferzeuger
générateur d'impulsion	Impulsgenerator
générateur électrostatique	Bandgenerator
générateur en cascade	Kaskadengenerator
générateur van de Graaff	van-de-Graaff-Generator, Bandgenerator
génération de vapeur	Dampferzeugung
génie chimique	chemische Technik, chemischer Apparatebau
génie nucléaire	Kernverfahrenstechnik, Kerntechnik
génovariation	Genmutation
géométrie	Geometrie
géométrie du réseau	Gitteraufbau
gerbe	Schauer
germanium	Germanium
germe	Zellkern, Fruchtknoten, Keim
gicleur de séparation	Trenndüse
gisement	Lagerstätte, geolog.
gîte minerai	Erzvorkommen, Erzlagerstätte
glissement	Gleitung, Verwerfung
glucine	Berylliumoxyd
glucinium	Beryllium

gonade	Gonade
gonflement	Schwellen, Aufbeulung
gradient de température	Temperaturgradient
grain	Korn
grain cristallin	Kristallit
gramme-rad	Gramm-rad
grande chambre d'ionisation	Faßkammer
grandeur à régler	Regelstrecke
grandeur caractéristique	Zustandsgröße
grandeur de sortie	Regelgröße, Ausgangsgröße
grandeur-moniteur, g.-témoin	Stellgröße
granulation	Körnung
granulocyte	Granulocyt
graphique de réglage	Steuerverlauf
graphite	Graphit
grillage	Gitterrost
grille	Gitterrost
grille antidiffusante	Flachblende
grille antidiffusante du type Potter-Bucky	Feinrasterblende
grille de protection	Berührungsschutz
grippage	Fressen
groupe de diffusion à étages multiples	mehrstufige Diffusions-Trennanlage
groupe de neutrons	Neutronengruppe
groupe de séparation	Trennanlage
groupe d'ions	Ionenhaufen
groupe d'ondes	Wellengruppe
groupe pour la séparation électromagnétique d'isotopes	elektromagn. Isotopentrennanlage
guérison	Erholung
guide d'ondes	Hohlleiter

H

hafnium	Hafnium (Hf)
haploïde	haploid (biologisch)
hélion	He-Kern
hélium	Helium
hématite	Hämatit
hémoglobine	Hämoglobin
héritage cytoplasmique	Erbfolge im Zytoplasma
hermitique	hermitisch
hétérozygue	heterozygot
hétérozygotie	Heterozygotie
heure-inverse	reziproke Stunde
hexafluorure d'uranium	Uranhexafluorid
hexagonal	Hexagonal
homme standard	Standard-Mensch
homozygue	homozygot
homozygotie	Homozygotie
hotte	Abzug
hydro-chloruration	Hydrochlorination
hydroclone	Hydroklon
hydrogène lourd	schwerer Wasserstoff
hydrure lourd	Deuterid
hydrure métallique	Metall-Hydrid
hygiène atomique	Strahlenschutz
hypersorption	Hypersorption

I

ilménite	Ilmenit
immédiatement critique	prompt kritisch
impair-impair	ungerade-ungerade
importance	Einfluß
importance du spectre neutronique	Einfluß des Neutronenspektrums
importance neutronique totale	Neutroneninhalt
importance totale	Gesamteinfluß

impulsion	Impuls
impulsion de recul	Rückstoß
impulsion du spin	Spindrehimpuls
impulsion orbitale	Bahndrehimpuls
incertitude	Ungenauigkeit
incident	einfallend
incident de démarrage	Startzwischenfall
inclusion	Einlagerung, Einschluß
indépendant du temps	zeitunabhängig
indicateur	Indikator, Leitisotop
indicateur à échelle calibrée	kalibriertes Strahlungsnachweisgerät
indicateur de dépassement	Grenzwertgerät
indicateur de plugging	Pluggingindikator
indicateur de position	Stabstandanzeiger, Grenzschalter
indicateur de rayonnement	Strahlendetektor
indicateur d'échappement de pertes	Leck-Detektor, Lecksucher
indicateur radioactif	radioaktiver Indikator, Leitisotop
indicateur valeur de moyenne	Mittelwertmesser
indice de comparité	Packungsanteil
indice de coordination	Koordinationszahl
indice de décontamination	Entseuchungsgrad
indium	Indium (In)
induction nucléaire	Kerninduktion
industrie atomique	Atomindustrie
inertie thermique	Temperaturverzögerung
infiniment mince	unendlich dünn
influence	Einfluß
influence des photoneutrons	Einfluß von Photoneutronen
inframicroscopique	submikroskopisch
ingénieur chimiste	Chemie-Ingenieur, Verfahrensingenieur
inhibiteur d'entrainement	Substanz, für die nur schlecht ein Träger gefunden werden kann.

injecteur de combustible	Brennstoff-Nachschub
inoxydable	rostfrei
instabilité	Instabilität
instabilité d'écoulement	Instabilität von Strömungen
installation atomique	Reaktoranlage
installation de contrôle	Überwachungseinrichtungen
installation de lavage	Waschanlage
installation de recombinaison	Rekombinationsanlage
installation de traitement	Verfahrens-Anlage
installation d'entretien manuel, direct	direktgewartete Prozeßanlage
installation d'experimentation	Experimentiereinrichtung
instantané	prompt
instrument de contrôle	Kontrollinstrument, Überwachungsgerät
instrument de mesure nucléaire	nukleares Meßgerät
instrument de poche	Taschenmeßgerät
intégrale	Integral
intégrale de Coulomb	Coulomb-Integral
intégrale de phase	Phasenintegral
intégrale de résonance	Resonanzintegral
intégrale d'erreur de Gauß	Gauß'sches Fehlerintegral
intégrateur	Integrator
intégrateur de doses	integrierendes Dosimeter
intensimètre	Intensitätsmeßgerät
intensité	Intensität, Leistung
intensité d'activation	Aktivierungsstärke
intensité d'ionisation	Ionisierungsstärke
intensité de ligne	Linienintensität
intensité d'une raie	Linienintensität
interdépendance des forces nucléaires et du spin	Spinabhängigkeit der Kernkräfte
interface	Grenzfläche
interférence de rayons-X	Röntgeninterferenz
interférence neutronique	Neutroneninterferenz

interrupteur	Zerhacker, Chopper
interrupteur stroboscopique	Zerhacker, Chopper
interruption d'urgence	Notabschaltung, Schnellschluß
intervalle de proportionnalité	Proportionalitätsbereich
introduction de corps radioactifs	Inkorporation radioaktiver Stoffe
inventaire	Ausrüstung, Investition
inversion chromosomique	chromosomale Inversion
inversion des lignes	Linienumkehr
iode	Jod
iode radioactif	radioaktives Jod
iodure de lithium	Lithiumjodid
iodure de sodium	Natriumjodid
ion	Ion
ion hydroxyle	Hydroxylion
ion uranyle	Uranyl-Ion
ionisation	Ionisierung, Ionisation
ionisation colomnaire	Kolonnenionisation
ionium	Ionium
ionisation globale	totale Ionisierung
ionisation par choc	Stoßionisierung
ionisation spécifique	spezifische Ionisation
iontophorèse	Iontophorese
iridium	Iridium
irradiation	Bestrahlung
irradiation aiguë	akute Bestrahlung
irradiation chronique	chronische Bestrahlung
irradiation par neutrons	Neutronenbestrahlung
irradiation prolongée	Dosiprotrahierung, Dauerbestrahlung
irradiation trouble	Störstrahlung
isobare	Isobare
isomérie	Isomerie
isomérie nucléaire	Kernisomerie
isomorphie	Isomorphie
isotone	Isotone
isotope	Isotop
isotope lourd	schweres Isotop

isotope radioactif	radioaktives Isotop
isotope traceur	Leitisotop
isotron	Isotron

J

jauge à réflexion bêta	Beta-Reflexionssonde
jauge d'exploration (ultra-sensible)	Flächenmonitor
johannite	Johannit
jonction p—n	Sperrschichtelement

K

kérosène	Kerosin
kilowatt-heure	kWh, Kilowattstunde
klystron	Klystron
krypton	Krypton

L

labile	labil, instabil
laboratoire à isotopes	Isotopenlaboratorium
laboratoire chaud	heißes Laboratorium
laboratoire de haute activité	heißes Laboratorium
laboratoire de recherche	Forschungsinstitut
laboratoire froid	kaltes Gebiet
lacune	Leerstelle
laiton	Messing
lambertite	Lambertit
lamellaire	laminar
laminage	Walzen
laminage en paquets	Paketwalzen

lamination en paquets	Paketwalzen
lampe d'électromètre	Elektrometerröhre
lanthane	Lanthan
lanthanides	Lanthaniden
lapin	Rohrpost
laplacien	Delta-Operator
laplacien du réacteur	Flußwölbung
laplacien géométrique	geometrische Flußwölbung
laplacien matière	materiell bedingte Flußwölbung
largeur de bande	Bandbreite
largeur de raie	Linienbreite
largeur des lignes	Linienbreite
largeur des raies spectrales	Spektrallinienbreite
largeur d'intensité moitié	Halbwertsbreite
largeur du niveau d'énergie	Niveau-Breite, Linienbreite
lavage de gaz	Gaswäsche
laverie	Waschanlage
lédéburite	Ledeburit
lentille électrostatique	elektrostatische Linse
lentille magnétique	magnetische Linse
lepton	Lepton
lésion par radiations	Bestrahlungsschaden
lésion tissulaire latente	latenter Zellgewebeschaden
lessivage	Auslaugung, Laugung
lessiver	auslaugen
léthargie	Lethargie
leucémie	Leukämie
leucocyte	Leukozyt
leucocytose	Leukozytose
leucopénie	Leukopenie
levé géologique terrestre	geologische Untersuchung
levé terrestre	Landvermessung
liaison chimique	chemische Bindung
liaison covalente	kovalente Bindung
liaison d'électrovalence	Valenzbindung
liaison ionique	Ionenbindung
liaison métallique	metallische Bindung

liaison thermique	wärmeleitende Bindung, Verbindung
libération d'énergie	Freisetzung von Energie
libération parcours	freie Weglänge
libre parcours moyen	mittlere freie Weglänge
libre parcours moyen d'absorption	Absorptionsweglänge
libre parcours moyen de diffusion	Streuweglänge, Diffusionsweglänge
libre parcours moyen de transport	Transportweglänge
ligne de force magnétique	magnetische Feldlinie, magn. Kraftlinie
ligne de résonance	Resonanzlinie
limite de cadmium	Kadmiumgrenze
limite de grains	Korngrenze
limite de série	Seriengrenze
limite d'élasticité	Streckgrenze
limite d'endurance	Haltbarkeitsgrenze
limite d'extrapolation	extrapolierte Grenze Extrapolationsstrecke
limite fatique sous efforts purement alternés	Wechselfestigkeit
limonite	Limonit
lingot	Ingot
lingot de combustible	Brennstoffstück
lingot d'uranium	Uranblock
liqueur primitive	wäßrige Primärlösung, Speiselösung
liquide	Flüssigkeit
liquide organique	organische Flüssigkeit
liquide sortant	ausströmende Flüssigkeit
lit catalytique	Katalysatorbett
lithium	Lithium
local de décontamination	Abklingraum
loi 1/v	1/v-Gesetz
loi d'action de masse	Massenwirkungsgesetz
loi de Bragg	Bragg'sches Gesetz
loi de décroissance radioactive	radioaktives Zerfallgesetz
loi de déplacement	Verschiebungsgesetz
loi de désintegration	Zerfallgesetz

loi de distribution	Verteilungsgesetz
loi de distribution maxwellienne	Maxwell-Boltzmannsches Verteilungsgesetz
loi de Fick	Ficksches Gesetz
loi de l'inverse-carré	quadratisches Abstandsgesetz
loi de Moseley	Moseleysches Gesetz
loi d'efficacité	Wirkungsgesetz
loi des isobares	Isobarensätze
longue période, à	langlebig
longeur de diffusion	Diffussionslänge
longeur de migration	Wanderlänge
longueur de radiation	Strahlenlänge
longueur de relaxation	Relaxationslänge
longueur de transport	Transportweglänge, Transportfaktor
longueur de trajectoire	Weglänge
longueur d'extrapolation	Extrapolationsstrecke
longueur d'extrapolation linéaire	lineare Extrapolationsstrecke
longueur d'onde	Wellenlänge
longueur d'onde de Compton	Compton-Wellenlänge
longueur d'onde de neutrons, neutronique	Neutronenwellenlänge
longuer (du tube) de séparation	Trennlänge
longueur extrapolée	Extrapolationslänge
loop	Wärmekreislauf, Loop
lumnite	Lumnit
lutécium	Lutetium, Cassiopeium
lymphe	Lymphe
lymphocyte	Lymphozyt
lymphopénie	Lymphopenie

M

machine à calculer électronique	elektronische Rechenmaschine
machine à influence à haute tension	Hochspannungsgenerator

machine électrostatique à haute tension	Bandgenerator
machine thermique	Wärmekraftmaschine
mâcle	Zwillingsbildung
macroparticule	Makroteilchen
macroparticule en suspension dans l'air	Makroteilchen der Luft (Staub)
magique	magisch
magnésie	Magnesia
magnésium	Magnesium
magnétite	Ferrit
magnétohydrodynamique	Magnetohydrodynamik
magnéton	Magneton
magnéton nucléaire	Kernmagneton
magnétron	Magnetron
mal des rayons	Strahlenkrankheit
manganèse	Mangan
manipulateur	Manipulator
manipulation à distance	Fernbedienung
manœuvre de sécurité	Sicherungsoperation
manomètre-spirale	Bourdon-Manometer
marquage	Markierung
marqué	markiert
martensite	Martensit
masse	Masse
masse atomique	Atommasse, Atomgewicht
masse atomique chimique	chemisches Atomgewicht
masse atomique physique	physikalisches Atomgewicht
masse au repos	Ruhemasse
masse critique	kritische Masse
masse critique d'uranium	kritische Uranmasse
masse de l'électron	Elektronenmasse
masse du noyau	Kernmasse
masse inerte, inertiale	träge Masse
masse isotopique	Isotopenwasser, Isotopengewicht
masse moléculaire	Molekülmasse
masse nucléaire	Kernmasse
masse subcritique	unterkritische Masse
masse totale	Gesamtmasse
matérialisation	Materialisation

matériaux absorbants	Absorbermaterial
matériaux cristallins	kristallines Material
matériaux d'absorption équivalente pour toute longueur d'onde	wellenlängen-unabhängiges Material
matériaux de blindage	Abschirmstoff
matériaux d'écran	Abschirmstoff
matériaux de gainage	Hülsenwerkstoff
matériaux de protection	Abschirmstoff
matériaux de structure	Baumaterial, Strukturmaterial, Haltungsmaterial
matériaux parasites	parasitäre Materialien
matière absorbante	Abschirmstoff
matière active	aktives Material
matière appauvrie	verarmtes Material
matière brute	Grundstoff, Ausgangsmaterial
matière épuisée	verarmtes Material
matière équivalente à un tissu	Gewebe-äquivalente Substanz
matière explosive	Explosivstoff
matière fertile	Brutstoff
matière fissile	Spaltstoff, spaltbares Material
matière fortement radioactive	hoch radioaktive Substanz
matière irradiée de neutrons	Neutronen-bestrahlter Stoff
matière première	Grundstoff, Rohstoff
matière radioactive contaminante	radioaktiv verseuchter Stoff
matière réfractaire	feuerbeständiges Material
matriçage	Gesenkschmieden
matrice	Matrix
matrice-colonne	Spaltenmatrix
matrice diagonale	Diagonalmatrix
matrice-ligne	Zeilenmatrix
mc-jour	Millicurie-Tag, mcd
mécanique newtonienne	Newton'sche Mechanik
mécanique ondulatoire	Wellenmechanik

mécanique quantique	Quantenmechanik
mécanique statistique quantique	Quantenstatistik
mécanisme à coup unique	Eintreffervorgang
mécanisme d'effacement	Rückholeinrichtung
mécanisme des cibles multiples	Mehrtreffervorgang
médicine nucléaire	Atommedizin
mégawatt-ans	Megawatt-Jahr
méiose	Meiosis
mélange d'isotopes	Isotopenmischung
mélanger	mischen
mendélévium	Mendelevium
mercure	Quecksilber
méson neutre	neutrales Meson
méson scalaire	skalares Meson
méson vectoriel	Vektormeson
mésothorium	Mesothorium
mésoton	Meson
mesure de rayonnement	radiometrische Messung
mesure de température	Temperaturmessung
mesure d'épaisseur par diffusion en retour	Reflexionsdickenmessung
mesure d'épaisseur par réflection bêta	Dickenmessung mit Betareflexion
mesure des radiations	Strahlungsmessung
mesure physique	physikalische Messung
mesures volumétriques	volumetrische Manometrie
métal alcalin	Alkalimetall
métal dur	Hartmetall
métal fondu	flüssiges Metall, Metallschmelze
métallographie	Metallkunde, Metallographie
métalloïde	Metalloid
métallurgie	Metallurgie, Metallkunde
métallurgie des poudres	Sintermetallurgie, Pulvermetallurgie
métallurgie du réacteur	Reaktor-Metallurgie
métaphase	Metaphase
métastable	metastabil

métastase	Metastase
méthode de Bethe	Bethesche Methode
méthode de Carlson	Carlsonsche Methode
méthode de Feather	Feather-Methode
méthode de Feynman	Feynmansche Methode
méthode de Holte	Holtesche Methode
méthode de la conductibilité calorique	Wärmeleitfähigkeitsmethode
méthode de la parabole	Parabelmethode
méthode de Monte-Carlo	Monte-Carlo-Methode
méthode de purification des eaux usées par les microorganismes	Belebtschlammverfahren
méthode de radiorésonance	Hochfrequenzspektroskopie
méthode de Ritz	Ritzsches Verfahren
méthode de séparation des isotopes	Isotopentrennverfahren
méthode de séparation par arc électrique	Lichtbogen-Schneid-Verfahren
méthode de Serber et Wilson	Serber-Wilson-Methode
méthode de Spencer et Fano	Spencer-Fano-Methode
méthode de Wick	Wicksche Methode
méthode d'émanation	Emanier-Methode
méthode des atomes traceurs	Leitisotopenmethode, Indikatormethode
méthode des gouttes calibrées	Tröpfchen-Fallmethode
méthode des groupes de diffusion	Gruppendiffusionsmethode
méthode des polynômes	Polynom-Methode
méthode des traceurs	Indikatortechnik
méthode des variations	Variationsmethode
méthode d'itération	Iterationsverfahren
méthode du doublet	Dublettmethode
méthode „en sandwich"	Sandwichmethode
méthode exponentielle	Exponentialverfahren
méthode masse-spectrographique de séparation des isotopes	massenspektrographisches Isotopentrennverfahren

méthode sandwich	Sandwichmethode
méthode S_n	S_n-Methode
microchamp	Mikrofeld
microchimie	Mikrochemie
micromanipulateur	Mikromanipulator
microphotomètre	Mikrophotometer
microscope électronique	Elektronenmikroskop
migration des ions	Ionenwanderung
migration superficielle	Oberflächenwanderung
milieu absorbant	absorbierendes Medium
milieu multiplicateur	multiplizierende Substanz
milieu non-absorbant	nicht absorbierendes Medium
mine	Mine
minerai	Erz, Mineral
minerai brut	unverarbeitetes, rohes Erz
minerai concentré	Konzentrat
minerai de faible teneur	geringwertiges Erz
minerai d'uranium	Uranerz
minerai d'uranium à haute teneur	hochwertiges Uranerz
minerai pauvre	armes Erz
minéraux uranifères	Uranerze
mise au point des instruments	Instrumentierung
mise en œuvre	starten, anfahren
mise en route	Start
mise en service	Inbetriebnahme
mitose	Mitose, Zellteilung
mobilité ionique	Ionenbeweglichkeit
modèle à deux groupes	Zweigruppenmodell
modèle à group unique	Eingruppenmodell
modèle analogique de pile	Reaktorsimulator
modèle d'atom	Atommodell
modèle de Bohr	Bohrsches Atommodell
modèle de goutte	Tröpfchenmodell
modèle de noyau	Kernmodell
modèle du noyau à particules indépendantes	Einteilchenmodell, Schalenmodell

modèle du noyau à structure en couches	Schalenmodell
modèle mono-groupe	Eingruppenmodell
modèle multi-groupe	Mehrgruppentheorie
modèle nucléaire en couche	Schalenmodell der Kerne
modèle polygroupe	Vielgruppenmodell
modèle quantique du noyau	Schalenmodell der Kerne
modérateur	Moderator, Bremsmittel
modérateur organique	organischer Moderator
modérateur refroidisseur	Brems- und Kühlmittel
modulation	Modulation
modulation d'amplitude	Amplituden-Modulation
modulation de fréquence	Frequenzmodulation
modulation de phase	Phasenmodulation
modulation de vitesse	Geschwindigkeitsmodulation
module de cisaillement	Schubmodul
module de rigidité	Festigkeitsmodul
module de rupture	Zerreißmodul
mœlle osseuse	Knochenmark
module d'élasticité	Elastizitätsmodul
mole	Mol
molécule	Molekül
molécule-gramme	Grammolekül
molécule ionisée	ionisiertes Molekül
molécule marquée	markiertes Molekül
molybdène	Molybdän
moment angulaire	Drehmoment
moment cinétique	Drehimpuls, Impulsmoment
moment de dipôle	Dipolmoment
moment de rotation	Bahndrehimpuls
moment de torsion-couple	Torsionsmoment
moment d'impulsion	Drehmoment, Impulsmoment
moment d'inertie	Trägheitsmoment
moment dipôlaire magnétique	magnetisches Dipolmoment
moment du quadripôle	Quadrupolmoment

moment magnétique	magnetischer Moment
moment magnétique anormal	anomales magn. Moment
moment magnétique de spin	magn. Spinmoment
moment magnétique du noyau	magn. Kernmoment
moment nucléaire	Kernmoment
monazite	Monazit
monel	Monelmetall
moniteur	Monitor
monoclinique	monoklin
monoénergétique	monoenergetisch
montage à coïncidence	Koinzidenzschaltung
montage à coïncidence Rossi	Rossi-Schaltung
montage à multivibrateur	Multivibratorschaltung
montage de Getting	Gettingschaltung
montage de sécurité à trois canaux	Zwei-von-drei-Schaltung
montage des barres	Brennstoffanordnung
montage doubleur de tension de Greinacher	Greinacher-Schaltung
montage en coïncidence	Koinzidenzschaltung
montage flip-flop	Flip-flop-Schaltung
montage intégrateur	Integrierschaltung
montée de réactivité	Reaktivitätsrampe
montée en puissance	Hochstellen
mortier	Mörtel
moteur à induit étanche	Spaltrohrantrieb
moulage par injection	Spritzguß
moulage sous pression	Druckguß, Preßguß
mouvement du noyau	Kernbewegung
multiple	Multiple
multiplicateur à électrons secondaires	Sekundär(elektronen)-vervielfacher
multiplicateur de tension	Verstärker
multiplicateur des neutrons	Neutronenvermehrung
multiplication	Vermehrung, Vermehrungsfaktor

multiplication des neutrons	Neutronenvermehrung
multiplication subcritique	unterkritische Vermehrung
muon	μ-Meson, Myon
mur de Gamow	Gamow-Berg
mutation	Mutation
mutation de gènes	Genmutation
mutation létale	Letalmutation

N

nécrose	Nekrose
négaton	(negatives) Elektron
néodym	Neodym
néon	Neon
néoplasme	Neoplasma
neptunium	Neptunium
neutrino	Neutrino
neutron	Neutron
neutron d'énergie thermique	thermisches Neutron
neutron de fisson	Spaltneutron
neutron de fisson rapide	schnelles Spaltneutron
neutron de résonance	Resonanzneutron
neutron de vitesse intermédiaire	mittelschnelles Neutron
neutron différé	verzögertes Neutron
neutron diffusé	gestreutes Neutron
neutron épithermique	epithermisches Neutron
neutron froid	kaltes Neutron
neutron incident	einfallendes Neutron
neutron instantané (de fission)	promptes Neutron
neutron intermédiaire	mittelschnelles Neutron
neutron lent	langsames Neutron
neutron nucléaire	Kernneutron
neutron prompt	promptes Neutron
neutron rapide	schnelles Neutron

neutron retardé	verzögertes Neutron
neutron thermique	thermisches Neutron
neutron vierge	jungfräuliches Neutron
neutrons A	A-Neutronen
neutrons C	C-Neutronen
neutrons D	D-Neutronen
neutrons épicadmium	Neutronen oberhalb der Kadmiumgrenze
neutronthérapie	Neutronentherapie
nickel	Nickel
niobium	Niob
nitrate d'aluminium	Aluminiumnitrat
nitrate d'ammonium	Ammoniumnitrat
nitrate de thorium	Thoriumnitrat
nitrate d'uranyle	Uranylnitrat
niveau d'énergie	Energieniveau
niveau de résonance	Resonanzgebiet, Resonanzniveau
niveau d'énergie zéro	Null-Energieniveau
niveau excité	angeregtes Niveau
niveau métastable	metastabiles Niveau
niveau quasistationnaire	quasistationäres Niveau
niveau virtuel	virtuelles Niveau
nivellement du flux	Flußabflachung
noircissement de plaque photographique	Schwärzung der Photoplatte
nombre atomique	Ordnungszahl
nombre atomique effectif	effektive Ordnungszahl
nombre d'Avogadro	Loschmidtsche Zahl
nombre de charge	Ladungszahl
nombre de charge nucléaire	Kernladungszahl
nombre de chocs	Stoßzahl
nombre de Fourier	Fourier-Zahl
nombre de Froude	Froude-Zahl
nombre de Graetz	Graetz-Zahl
nombre de Grashof	Grashof-Zahl
nombre de Loschmidt	Avogadro'sche Zahl
nombre de masse	Massenzahl
nombre de neutrons	Neutronenzahl
nombre de Nusselt	Nusselt-Zahl
nombre de Péclet	Peclet-Zahl

nombre de Prandtl	Prandtl-Zahl
nombre de Reynolds	Reynolds-Zahl
nombre de Schmidt	Schmidt-Zahl
nombre de Stanton	Stanton-Zahl
nombre de v. Karman	v. Karman-Zahl
nombre d'impulsions à vide	Nullrate, Untergrund
nombre d'ondes	Wellenzahl
nombre hématine	Blutzellenzahl
nombre isotopique	Isotopenzahl
nombre magique	magische Zahl
nombre quantique	Quantenzahl
nombre quantique azimutal	azimutale Quantenzahl
nombre quantique de spin	Spinquantenzahl
nombre quantique de spin isotopique	isotope Spinquantenzahl
nombre quantique magnétique	magnetische Quantenzahl
nombre quantique principal	Hauptquantenzahl
nombre quantique secondaire	Nebenquantenzahl
nombre volumique de neutrons	Neutronendichte
nombres sans dimensions	dimensionslose Kennzahlen
non-linéarité	Nichtlinearität
normalisation des fonctions propre	Normierung von Eigenfunktionen
noyau	Kern
noyau atomique	Atomkern
noyau cellulaire	Zellkern
noyau central du réacteur	Spaltzone
noyau chargé positivement	positiv geladener Kern
noyau cible	Auffängerkern
noyau composé	Verbundkern
noyau de diffusion	Diffusionskern
noyau de Gauss	Gauß'scher Bremskern

noyau de nature radioactive	natürlich radioaktiver Kern
noyau de ralentissement	Bremskern
noyau de recul	Rückstoßkern
noyau de transport	Transportkern
noyau de Wigner	Wigner-Kern
noyau dérivé	Folgekern
noyau d'hélium	Heliumkern
noyau d'hydrogène	Wasserstoffkern
noyau d'ionisation	Ionisationskern
noyau d'uranium	Urankern
noyau émetteur de neutrons	Mutterkern
noyau émetteur de particules alpha	Alpha-Strahler
noyau émetteur de neutrons	Mutterkern (d. verzögerten Neutronen)
noyau enfanté	Tochterkern, Folgekern
noyau engendré	Folgekern
noyau excité	angeregter Kern
noyau fissile	spaltbarer Kern
noyau image	Spiegelkern
noyau impair-impair	u-u-Kern
noyau impair-pair	u-g-Kern
noyau instable	instabiler Kern
noyau intégral	Integral-Kern
noyau léger	leichter Kern
noyau lourd	schwerer Kern
noyau mirroir	Spiegelkern
noyau original	Ausgangskern
noyau pair-impair	g-u-Kern
noyau pair-pair	g-g-Kern
noyau produit	erzeugter Kern
noyau radioactif	radioaktiver Kern
noyau radioactif artificiel	künstlich radioaktiver Kern
noyau résultant	resultierender Kern
noyau stable	stabiler Kern
noyer	Fluten
nu	nackt

nuage d'électrons	Elektronenwolke, Elektronenhülle
nuage ionique	Ionenschlauch
nucléaire	nuklear
nucléide	Nuklid
nucléon	Nukleon
nucléon excité	Leuchtnukleon
nucléoprotéine	Nukleoprotein
nucléus	(Zell-)Kern
nuclide	Nuklid
nuclide isobare	isobares Nuklid
nuclide isodiaphère	isodiapheres Nuklid ($N-P=$const.)
nuclide isomère	isomeres Nuklid
nuclide isotone	isotones Nuklid
nuclide mirroir	Spiegelnuklid, Spiegelkern
nuclide stable	stabiles Nuklid
numérateur	Zähler, Zählwerk
numération globulaire	Blutuntersuchung, Blutbild, Blutzellenzahl
numération leucocytaire totale	Gesamtzahl der weißen Blutkörperchen
numération thrombocytaire	Gesamtzahl der Blutplättchen
numéro atomique	Ordnungszahl

O

œdème	Ödem
oligoélément	Spurenelement
omégatron	Omegatron
onde associée	Materiewelle
onde d'Alfvén	Alfvén-Welle
onde de choc	Stoßwelle
onde de de Broglie	de Broglie-Welle
onde diffusée	Streuwelle
onde électromagnétique	elektromagnetische Wellen

onde électronique	Elektronenwelle
onde incidente	einfallende Welle
onde magnétohydro-dynamique	magnetohydrodynamische Welle
onde matérielle	Materiewelle
onde plane	ebene Welle
opérateur	1. Operator, 2. Reaktorfahrer
opérateur commutatif	kommutativer Operator
opération de sécurité	Sicherungsoperation
opération d'une pile	Reaktorbetrieb
opérateur d'échange	Austauschoperator
opération standardisée	Grundverfahren
optique des neutrons	Neutronenoptik
or	Gold
orbite externe	äußere Bahn
orbite périphérique	äußere Bahn
orbite stable	stabile Bahn
orbite stationnaire	stationäre Bahn
organe critique	kritisches Organ
organe de contrôle	Steuerorgan, Regelorgan
organe de déclenchement	Abschaltorgan
organe de déclenchement rapide	Schnellabschaltorgan
organe de pilotage	Trimmabschaltorgan
organe de réduction de réactivité	Trimmorgan
organe de réglage	Stellglied, Regelorgan
organe de transfert	Übertrager
organe de transmission	Übertrager
orientation	Orientierung
orientation préférée	Vorzugsrichtung
orthodiagraphe	Orthodiagraph
orthogonal	orthogonal
oscillateur de haute fréquence	Hochfrequenzgenerator
oscillateur de pile	Reaktoroszillator
oscillation	Schwingung, Oszillation
oscillations du plasma	Plasmaschwingungen
oscillations réticulaires	Kristallschwingungen
osmium	Osmium
ostéophile	Knochensucher

oxalic acid	Oxalsäure
oxydation	Oxydation
oxyde de béryllium	Berylliumoxyd
oxyde d'uranium	Uranoxyd
oxygène	Sauerstoff

P

paire d'électrons	Elektronenpaar
paire électron-positron	Elektron-Positron-Paar
palier	Plateau
palladium	Palladium
panneau d'affichage	Meldetafel
panneau de commande	Steuerpult
paquet d'ondes	Wellenpaket
paraffine	Paraffin
parallélépipède rectangulaire	rechteckiges Parallelepiped
paramètre cristallin	Gitterparameter
paramètre de choc	Stoßparameter
paramètre de collision	Stoßparameter
paramètre de résonance	Resonanzparameter
parcours d'absorption unitaire (par émission de rayonnement)	Strahlungseinheit
parcours de diffusion	Diffusionslänge
parcours de migration	Wanderlänge
parcours de ralentissement	Bremslänge
parcours de vie	Zerfallsweg
parcours d'extrapolation	Extrapolationsstrecke
paramètre d'impact	Stoßparameter
parcours d'une particule	Reichweite eines Teilchens
parcours extrapolé	extrapolierte Reichweite
parcours maximum	maximale Reichweite
parcours moyen	mittlere Reichweite
parent nucléaire	Mutterkern, Ausgangskern

parité	Parität
particule	Teilchen
particule à faible portée	Teilchen mit geringer Reichweite
particule accélérée	beschleunigtes Teilchen
particule alpha	Alpha-Teilchen
particule alphina	Alphina-Teilchen
particule arrêtée	abgebremstes Teilchen
particule bêta	Beta-Teilchen
particule bombardée	beschossenes Teilchen
particule chargée	geladenes Teilchen
particule constituante	zusammengesetztes Teilchen
particule de champ	Feld-Teilchen
particule de désintegration	Zerfallteilchen
particule de grande vitesse	schnelles Teilchen
particule de la cible	Auffänger-Teilchen
particule de la gerbe	Schauer-Teilchen
particule diffusée	gestreutes Teilchen
particule élémentaire	Elementarteilchen
particule émise	herausgeschlagenes Teilchen, emittiertes Teilchen
particule fondamentale	Elementarteilchen
particule ionisante	ionisierendes Teilchen
particule neutre	Neutralteilchen
particule nucléaire	Kernteilchen
passage	Durchgang, Übergang
passage à contre-courant	Gegenstrom
P.C.M. (pour cent-mille)	$10^5 \cdot (k-1)/k$
peau d'oxyde	Gußhaut
pechblende	Pechblende
pegmatite	Pegmatit
pellicule	Film
pénétrant	durchdringend
pentafluorure d'antimoine	Antimonpentafluorid
percer	Durchbrennen
père nucléaire	Mutterkern, Ausgangskern

période	1. Periode, 2. Halbwertszeit
période à longue	langlebig
période biologique	biologische Halbwertszeit
période comparative	vergleichbare Lebenszeit
période d'arrêt	Abschaltzeit
période de démarrage	Zeitdauer des Anfahrens
période de désintégration	Zerfallszeit, Lebensdauer
période de doublement	Verdopplungszeit
période d'échange	Halbwertszeit für Austausch
période du réacteur	Reaktorperiode
période effective	effektive Halbwertszeit
période radioactive	Halbwertszeit des radioaktiven Zerfalls
périodemètre	Periodenmesser
périodicité	Periodizität
périodicité nucléaire	Kernperiode
péritectique	Peritektikum
perlite	Perlit
perméabilité	Permeabilität
peroxyde de sodium	Natriumperoxyd
peroxyde d'hydrogène	Wasserstoffperoxyd
perte de pression	Druckverlust
perte des neutrons par fuite	Verluste durch Neutronenausfluß
pertes dues à un nouveau traitement	Aufbereitungsverlust
perturbation	Störung
phase	Phase
phase aqueuse	flüssige Phase
phase de Hume-Rothery	Hume-Rothery-Phase
phase de Laves	Laves-Phase
phase de Zintl	Zintl-Phase
phase gazeuse	Gasphase
phase solide	feste Phase
phasotron	Phasotron
phénacite	Phenakit
phénomènes de transport	Transporterscheinungen
phosphate de tributyle	Tributylphosphat
phosphore	Phosphor

phosporescence	Phosphoreszenz
photocathode	Photokathode
photodésintégration nucléaire	Kernphotoeffekt
photoélectrique	lichtelektrisch
photoélectron	Photoelektron
photoexcitation	Lichtanregung
photofission	Photospaltung
photoionisation	Photoionisation
photolyse	Photolyse
photoméson	Photomeson
photomètre à fluorescence	Fluophotometer (Fluoreszenzphotometer)
photomultiplicateur	Photovervielfacher
photon	Photon, Lichtquant
photon d'annihilation	Vernichtungsstrahlung
photon de dématérialisation	Vernichtungsstrahlung
photon gamma	Gamma-Quant
photoneutron	Photoneutron
photoproduction	Photoerzeugung
photoproton	Photoproton
photosynthèse	Photosynthese
phototransitor	Phototransitor
photo transmutation	Photoumwandlung
physique neutronique	Neutronenphysik
physique nucléaire	Kernphysik
pièce de dilation	Ausdehnungsstück
pierre à la baryte	Schwerspat, Kämpe-Lorey-Platte
pile	Reaktor
pile à eau lourde	Schwerwasserreaktor
pile à niveau d'énergie élevé	Hochleistungsreaktor
pile à uranium	Uranreaktor
pile à uranium et à graphite	Uran-Graphit-Reaktor
pile couveuse	Brutreaktor
pile de production de plutonium	Plutonium-Erzeugungsreaktor
pile de puissance zéro	Nullreaktor

pile électrique nucléaire	Atombatterie
pile expérimentale	Forschungsreaktor
pile génératrice d'énergie	Leistungsreaktor
pile modérée au graphite	graphitmoderierter Reaktor
pile sigma	Sigma-Reaktor
pile vierge	jungfräulicher Reaktor
pilotage automatique	Trimmnachfolge-steuerung
pinceau	Strahl
pion	Pion, π-Meson
piqûre	Lochfraß
placage	Plattierung
place vacante	Leerstelle
plage	Bereich, Meßbereich
plage de réglage de la réactivité	Trimmhub
plan du réseau cristallin	Netzebene
plan réticulaire	Netzebene
planigraphie	Körperschichtaufnahme
plaque infini	unendliche ausgedehnte Schicht
plaquette à film	Filmplakette
plasticité	Plastizität
plateau	Plateau (Zählrohr ∼)
plateau à cloches	Glockenboden
plateau perforé	Siebboden
platine	Platin
plomb	Blei
plomb équivalent	Bleiäquivalent
plutonium	Plutonium
poids atomique	Atomgewicht
poids de grain	Korngewicht
poids moléculaire	Molekulargewicht
poids spécifique	spez. Gewicht, Dichte
poids statistique	statistisches Gewicht
point chaud	Spitzenlastpunkt
point critique	kritischer Punkt
point de fusion	Schmelzpunkt
point d'ébullition	Siedepunkt
point d'engorgement	Ausflußstelle
poison du réacteur	Reaktorgift

poison radioactif	radioaktives Gift
polarisabilité	Polarisierbarkeit
polarisation	Polarisation
polissage électrolytique	elektrolytisches Polieren
polonium	Polonium
polymérisation	Polymerisation
polyphényle	Polyphenyl
pompe	Pumpe
pompe à jet	Wasserstrahlpumpe
pompe à vide	Vakuumpumpe
pompe centrifuge	Kreiselpumpe
pompe de circulation	Umwälzpumpe, Gebläse
pompe de diffusion à étage unique	einstufige Diffusionspumpe
pompe de diffusion à vide	Vakuumdiffusionspumpe
pompe électromagnétique	elektromagnetische Pumpe
portée	Reichweite
portée d'appareils de mesure	Meßinstrumentenbereich
portée massique	Massenbereich
portée résiduaire	Restreichweite
porteur	Träger
position interstitielle	Zwischengitterplatz
positron	Positron
positronium	Positronium
possibilité d'ensevelissement	Abfall-Lagerung
possibilité d'enterrement	Abfall-Lagerung
potassium	Kalium
potentiel central	Zentralpotential
potentiel de Coulomb	Coulomb-Potential
potentiel de séparation	Trennpotential
potentiel de Yukawa	Yukawa-Potential
potentiel d'excitation	Anregungspotential
potentiel d'ionisation	Ionisierungspotential
potentiel nucléaire	Potential der Kernkräfte, Kernpotential
potentiel radiatif	Strahlungsinhalt einer radioaktiven Substanz
pourcentage hebdomadaire d'exposition	Arbeitsfaktor

poussière radioactive	radioaktiver Staub
pouvoir absorbant	Absorptionsvermögen
pouvoir d'arrêt	Bremsvermögen
pouvoir de modération	Bremsvermögen
pouvoir de pénétration	Durchdringungsvermögen
pouvoir de ralentissement	Bremsvermögen
pouvoir de réponse	Ansprechvermögen
pouvoir de résolution	Auflösungsvermögen
pouvoir de séparation	Trennvermögen
pouvoir ionisant	Ionisationsvermögen
pouvoir pénétrant	Durchdringungsvermögen
pouvoir résolvant	Auflösung
pouvoir séparateur	Auslösungsvermögen
praséodyme	Praseodym
préchauffeur	Vorwärmer
précipitation	Fällung
précipitation avec entraîneur	Trägerfällung
précipitation des produits de fission	Spaltproduktausschlakkung
précipitation entraînée	Mitfällung
précipitation radioactive	aktiver Niederschlag
précision des mesures	Meßgenauigkeit
précurseur	Vorläufer, Vorgänger
prédétermination de la durée	Zeitvorwahl
prédétermination du nombre d'impulsions	Impulsvorwahl
préparation	Aufbereitung
préparation à l'air libre	offenes (radioaktives) Präparat
préparation en récipient ouvert	offenes (radioaktives) Präparat
préparation mécanique des minerais	mechanische Erzaufbereitung
préparation sous enceinte étanche	geschlossenes (radioaktives) Präparat
pressage à chaud	Heißpressen, Drucksintern
pressage à froid	Kaltpressen
pression de radiation	Strahlungsdruck
pression de vapeur	Dampfdruck

pression dynamique	Staudruck
pression magnétique	magnetischer Druck
pressuriseur	Druckhalteeinrichtung, Druckerzeuger
principe de causalité	Kausalprinzip
principe d'exclusion	Ausschließungsprinzip
principe d'indétermination	Unbestimmtheitsrelation
probabilité	Wahrscheinlichkeit
probabilité de désintegration	Zerfallswahrscheinlichkeit
probabilité de diffusion	Streuwahrscheinlichkeit
probabilité de fission	Spaltwahrscheinlichkeit
probabilité de fuite de neutrons	Bremsnutzung
probabilité de non-fuite	Verbleibwahrscheinlichkeit
probabilité de non-résonance	Resonanzdurchlaßwahrscheinlichkeit
probabilité de pénétration	Durchdringungswahrscheinlichkeit
probabilité de ralentissement	Bremswahrscheinlichkeit
probabilité de réponse	Ansprechwahrscheinlichkeit
probabilité de transformation	Umwandlungswahrscheinlichkeit
probabilité de transition	Übergangswahrscheinlichkeit
probabilité d'échapper à la capture par résonance	Resonanzdurchgangswahrscheinlichkeit, Bremsnutzung
probabilité d'excitation	Anregungswahrscheinlichkeit
probabilité d'ionisation	Ionisierungswahrscheinlichkeit
probabilité mathématique	mathematische Wahrscheinlichkeit
probabilité thermique	thermodynamische Wahrscheinlichkeit
problème de Milne	Milnesches Problem
problème de sécurité	Sicherheitsproblem

problème des valeurs propres	Eigenwertproblem
procédé	Verfahren
procédé à charges continues	Dauerbetrieb
procédé à charges intermittentes	Chargenbetrieb, aussetzender Betrieb
procédé à étages multiples	Mehrstufenprozeß
procédé à étage unique	Einstufenprozeß
procédé à fournées continues	Dauerbetrieb
procédé à fournées intermittentes	Chargenbetrieb, aussetzender Betrieb
procédé au TBP (tributylphosphate)	TBP-Prozeß
procédé au trifluorure de bore	Bromtrifluorid-Prozeß
procédé au trifluorure de chlore	Chlortrifluorid-Prozeß
procédé chimique	chemischer Prozeß
procédé continu	Dauerbetrieb
procédé de fission	Spaltvorgang
procédé de fusion	Fusionsprozeß
procédé de fusion par zone	Zonenschmelzverfahren
procédé de mesure	Meßverfahren
procédé de régénération	Regenerierungsvorgang
procédé des deux températures	Zweitemperaturprozeß
procédé d'extraction	Extraktionsprozeß
procédé d'irradiation	Bestrahlungsvorgang
procédé discontinu	Chargenbetrieb, aussetzender Betrieb
procédé halex	Halex-Prozeß
procédé hexon	Hexon-Prozeß
procédé intermittent	Chargenbetrieb, aussetzender Betrieb
procédé irréversible	irreversibler Prozeß
procédé nucléaire	Kernprozeß
procédé (par charges) discontinu(es)	Chargenbetrieb

procédé purex	Purexprozeß
procédé redox	Redox-Prozeß
procédé réversible	reversibler Vorgang
procédé unitaire	einheitlicher Prozeß
procédé van Impe	van Impe-Prozeß
procédé zircex	Zircex-Prozeß
processus à choc multiple	Mehrtreffervorgang
processus élémentaire	Elementarprozeß
processus nucléaire	Kernprozeß
production continue d'énergie atomique	kontinuierliche Kernenergieerzeugung
production de chaleur	Wärmeerzeugung
production de matière fissile	Brütung spaltbaren Materials
production de neutrons par fission	Spaltneutronenerzeugung
production de vapeur	Dampferzeugung
production d'uranium	Urangewinnung
productivité	Produktivität
produit	erzeugtes Material, Erzeugnis, Produkt
produit concentré	Konzentrat
produit de désintégration	Zerfallprodukt
produit de désintégration radioactive	radioaktives Zerfallprodukt
produit de fission	Spaltprodukt
produit de fission à grande période	langlebiges Spaltprodukt
produit de fission radioactif	radioaktives Spaltprodukt
produit de queue	Bodensatz
produit de réaction	Reaktionsprodukt
produit final	Endprodukt
produit intermédiaire	Zwischenprodukt
produits par fission	Spaltprodukt
programme (de régulation)	Programmsteuerung
projection aux rayons X	Abbildung mit Röntgen-Strahlen
projet de réacteur	Reaktorentwurf
prométhium	Promethium
prompt-critique	prompt kritisch

propriété chimique	chemische Eigenschaft
propriété physique	physikalische Eigenschaft
propulsion	Antrieb
prospection	(Erz)-Schürfung
protactinium	Protaktinium
protection biologique	biologischer Schirm, biol. Abschirmung
protection contre les radiations	Strahlenschutz
protection en béton	Betonabschirmung
protection thermique	thermischer Schild, therm. Abschirmung
protégé	abgeschirmt
proton	Proton
proton de recul	Rückstoßproton
proton incident	einfallendes Proton
proton nucléaire	Kernproton
prototype	Prototyp
puissance	Kraft, Leistung
puissance brute	Bruttoleistung
puissance calculée	geplante Leistung
puissance calorifique	Wärmeleistung
puissance chaleur	Abbrand
puissance critique de déclenchement	Abschaltleistung bzw. Abschaltpegel
puissance de pompage	Pumpleistung
puissance de pré-réglage	Solleistung
puissance de radiation	Strahlungsleistung
puissance de réserve	Reserveleistung
puissance des sources de neutrons	Neutronenquellstärke
puissance disponible	verfügbare Leistung
puissance installé	installierte Leistung
puissance maximale	Grenzleistung
puissance nécessaire	benötigte Leistung
puissance nominale	Nennleistung
puissance spécifique	spezifische Leistung
puissance thermique du réacteur	Reaktorwärmeleistung
puissance utile	Nutzleistung
puissance volumique	Leistungsdichte
puits de potentiel	Potentialtopf

puits exponentiel	Exponentialwall
pulvériser	verdüsen, pulverisieren
pupître	Bedienungspult
pupître de commande	Steuerpult
pureté nucléaire	Kernreinheit
pureté radiochimique	radiochemische Reinheit
purificateur	Reiniger
purification	Reinigung
purification de gaz	Gasreinigung
purification nucléaire	Feinreinigung
purification par formation de carbures	Karbid-Ausschlackung
pustule	Pustel, Bläschen
pycnose	Kernpyknose
pyrophosphate d'alkyle	Alkyl-Pyrophosphate

Q

quadripôle	Quadrupol
qualité d'une radiation	Strahlenqualität
quantification	Quantelung
quantification spatiale	räumliche Quantelung
quantique, voir mécanique quantique	Quanten- (in Zsstzg)
quantité de mouvement	Impuls
quantité de rayonnement	Strahlungsmenge
quantité intégrale	integrale Größe
quantité scalaire	skalare Größe, Skalar
quantité vectorielle	Vektorgröße, Vektor
quantum	Quant
quantum d'action	Wirkungsquantum
quantum de champ	Feld-Quant
quantum de lumière	Lichtquant
quantum de rayonnement	Strahlungsquant
quantum d'énergie	Energiequant
quantum gamma	Gamma-Quant
quantum gamma d'annihilation	Vernichtungsstrahlung
quantum virtuel	virtuelles Quant
quarterphenyle	Quaterphenyl

R

radiateur alpha	Alphastrahler
radiateur bêta	Betastrahler
radiation	Strahlung
radiation à courte période	kurzlebige Strahlung
radiation à longue période	langlebige Strahlung
radiation ambiante	Untergrund-Strahlung
radiation caractéristique	charakteristische (Röntgen-) Strahlung
radiation corpusculaire	Korpuskularstrahlung
radiation cosmique	kosmische Strahlung
radiation d'annihilation	Vernichtungsstrahlung
radiation de dématerialisation	Vernichtungsstrahlung
radiation de produits de fission	Spaltproduktstrahlung
radiation de radiofréquence	Hochfrequenzstrahlung
radiation du réacteur	Reaktorstrahlung
radiation électromagnétique	elektromagnetische Strahlung
radiation homogène	homogene Strahlung
radiation ionisante	ionisierende Strahlung
radiation monochromatique	monochromatische Strahlung
radiation monoénergétique	monoenergetische Strahlung
radiation multipolaire	Multipolstrahlung
radiation neutronique	Neutronenstrahlung
radiation non-ionisante	nicht ionisierende Strahlung
radiation nucléaire	Kernstrahlung
radiation pénétrante	durchdringende Strahlung
radiation primaire	Primärstrahlung
radiation radioactive	radioaktive Strahlung
radiation secondaire	Sekundärstrahlung
radiation thermique	Wärmestrahlung

radiation vagabonde	Streustrahlung
radiation X caractéristique	charakteristische Röntgen-Strahlung
radical	Radikal
radical hydroxyle	Hydroxylradikal
radioactif	radioaktiv
radioactinium	Radioaktinium
radioactivité	Radioaktivität
radioactivité artificielle	künstl. Radioaktivität
radioactivité induite	künstl. Radioaktivität
radioactivité naturelle	natürliche Radioaktivität
radioactivité provoquée	künstl. Radioaktivität
radiobarium	radioaktives Barium
radiobiologie	Strahlenbiologie
radiocarbone	radioaktiver Kohlenstoff
radiochimie	Strahlenchemie
radiochromatographie	Radiochromatographie
radiochromatographie sur papier	Radiopapierchromatographie
radiocolloïde	Radiokolloid
radioélément	Radioelement
radioélément indicateur	Indikator, Leitisotop
radiogène	radiogen
radiogénétic	Strahlengenetik
radiographie	Radiographie
radiographie à très haute tension	Hartstrahltechnik
radiographie en coupe	Schnittbildverfahren
radiographie en masse	Schirmbild-Verfahren
radioiode	radioaktives Jod
radioisomère	Radioisomer
radioisotope	Radioisotop
radiolésion biologique	biologischer Strahlungsschaden
radiologie	Radiologie
radiologique	radiologisch
radioluminescence	Radiolumineszenz
radiolyse	Radiolyse
radionuclide	Radionuklid
radiophysique médicale et sanitaire	Strahlenschutz, Gesundheitsphysik
radioplomb	Radioblei

radioprotection	Strahlenschutz
radiosensibilité	Strahlenempfindlichkeit
radiothérapie	Strahlentherapie
radiothérapie rotatoire	Rotationsbestrahlung
radiothorium	Radiothor
radiotoxémie	Strahlungs-Erkrankung
radiotraceur	radioaktiver Indikator
radium	Radium
radium puncture	Radium-Spickung
radius du noyau	Kernradius
radon	Radon
raffinage du minerai	Erzaufbereitung
raie caractéristique d'un dépôt	Rückstandskennlinie
raies spectrales	Spektrallinien
ralentissement	Bremsung
ralentissement continu	kontinuierliche Bremsung
ralentissement des neutrons	Neutronenbremsung
ralentissement par ionisation	Ionisationsbremsung
ralentisseur	Bremssubstanz, Moderator
rameau	Zweig
rampe de réactivité	Reaktivitätsrampe
range	Reichweite
rapport cadmique	Kadmium-Verhältnis
rapport d'appauvrissement	Abstreifverhältnis
rapport de branchement	Verzweigungs-Verhältnis
rapport de breeding	Brutverhältnis
rapport de cadmium	Kadmium-Verhältnis
rapport de conversion	Konversionsgrad
rapport de modération	Bremsverhältnis
rapport de sécurité	Sicherheitsbericht
rapport de teneur	Quotient zweier Isotopenhäufigkeiten
rapport d'expansion	Ausdehnungsverhältnis
rapport γ-n	Gamma-N-Verhältnis
rapport gyromagnétique	gyromagnetisches Verhältnis

rapport isotopique	Isotopenverhältnis
rapport modérateur-combustible	Moderator-Brennstoff-Verhältnis
rayon alpha	Alpha-Strahl
rayon atomique	Atomradius
rayon bêta	Beta-Strahl
rayon critique	kritischer Radius
rayon d'action	Reichweite
rayon d'action des forces nucléaires	Reichweite der Kernkräfte
rayon de Bohr	Bohr'scher Radius
rayon de courbure	Krümmungsradius
rayon de gyration	Gyrationsradius
rayon de l'atome	Atomradius
rayon de l'électron	Elektronenradius
rayon de neutron	Neutronenstrahl
rayon d'hydrogène	Wasserstoffradius
rayon du noyau	Kernradius
rayon ionique	Ionenradius
rayonnement, syn. rayons	Strahlung
rayonnement ambiant	Raumstrahlung
rayonnement caractéristique	charakteristische Strahlung
rayonnement d'annihilation	Vernichtungsstrahlung
rayonnement de Cerencov	Tscherenkow-Strahlung
rayonnement de freinage	Bremsstrahlung
rayonnement de haut niveau d'énergie	energiereiche Strahlung
rayonnement de produits de fission	Spaltprodukt-Strahlung
rayonnement de protons	Protonenstrahlung
rayonnement d'un plasma	Strahlungsemission eines Plasmas
rayonnement diffuse	Streustrahlung
rayonnement filtrant	Sickerstrahlung
rayonnement hétérogène	heterogene Strahlung
rayonnement monochromatique	monochromatische Strahlung
rayonnement parasite	Störstrahlung
rayonnement suintant	Sickerstrahlung

rayonnement thermique	Wärmestrahlung
rayons canaux	Kanalstrahlen
rayons cathodiques	Kathodenstrahlen
rayons cosmiques	kosmische Strahlen
rayons cosmiques primaire	primäre kosmische Strahlung
rayons de Bucky	Grenzstrahlung
rayons de fluorescence	Fluoreszenzstrahlung
rayons delta	Delta-Strahlen
rayons diffusés	Streustrahlen
rayons doux	weiche Strahlung
rayons durs	harte Strahlung
rayons gamma	Gamma-Strahlen
rayons gamma de capture radiative	K-Strahlung
rayons gamma immédiats	prompte Gamma-Strahlung
rayons limites	Grenzstrahlen
rayons pénétrants	durchdringende, harte Strahlung
rayons positifs, voir rayons canaux	
rayons X	Röntgenstrahlen
rayons X mous	weiche Röntgenstrahlen, Grenzstrahlen
RBE	RBW, Abk. f. relative biologische Wirksamkeit
réacteur	Reaktor
réacteur à bain de sel	Reaktor mit Salzschmelze
réacteur à combustible circulant	Reaktor mit umlaufendem Brennstoff
réacteur à deux zones	Zweizonenreaktor
réacteur à eau bouillante	Siedewasserreaktor
réacteur à eau lourde	Schwerwasserreaktor
réacteur à eau pressurisée	Druckwasserreaktor
réacteur à eau sous pression	Druckwasserreaktor
réacteur à faible flux	Reaktor mit geringem Fluß
réacteur à grand flux	Reaktor mit hohem Fluß

réacteur à fission en plasma	Plasma-Spaltungsreaktor
réacteur à haute température	Reaktor mit hoher Temperatur
réacteur à moderateur organique	Reaktor mit organischem Bremsmittel
réacteur à neutrons à vitesse intermédiaire	intermediärer Reaktor
réacteur à neutrons épithermiques	epithermischer Reaktor
réacteur à neutrons rapides	Reaktor mit schnellen Neutronen
réacteur à neutrons thermiques	thermischer Reaktor
réacteur à plaque infini	Schichtreaktor
réacteur à plutonium	Plutonium-Reaktor
réacteur à réflecteur	Reaktor mit Reflektor
réacteur à refroidissement au gaz	gasgekühlter Reaktor
réacteur à schlamm	Suspensionsreaktor
réacteur à sels fondus	Salzschmelzenreaktor
réacteur à sodium (et graphite)	Natrium (Graphit-) Reaktor
réacteur à températures élevées	Hochtemperatur-Reaktor
réacteur à thorium	Thorium-Reaktor
réacteur à turbine à gaz	Gasturbinenreaktor
réacteur à une seule région	Einzonenreaktor
réacteur adjoint	adjungierter Reaktor
réacteur atomique	Kernreaktor
réacteur bivalent	Zweizweckreaktor
réacteur combustible de métal fondu	Flüssigmetall-Reaktor
réacteur céramique	keramischer Reaktor
réacteur-chaudière	Tank-Reaktor, Wasserkesselreaktor
réacteur breeder de puissance	Leistungs-Brut-Reaktor
réacteur convertisseur	Konvertor
réacteur critique	kritischer Reaktor
réacteur critique à chaud	heißkritischer Reaktor

réacteur cylindrique	zylindrischer Reaktor
réacteur cylindrique fini	endlicher zylindrischer Reaktor
réacteur de comparaison	Bezugsreaktor
réacteur de puissance	Leistungsreaktor
réacteur de puissance zéro	Nullenergiereaktor
réacteur d'essai des matériaux	Materialprüfreaktor
réacteur en suspension	Suspensionsreaktor
réacteur épithermique	epithermischer Reaktor
réacteur expérimental	Forschungsreaktor
réacteur hétérogène	heterogener Reaktor
réacteur homogène	homogener Reaktor
réacteur image	Bildreaktor
réacteur intermédiaire	mittelschneller Reaktor
réacteur mixte	Zweizweckreaktor
réacteur modéré	Reaktor mit Bremssubstanz
réacteur modéré à l'eau	mit Wasser moderierter Reaktor
réacteur modéré au glucinium	mit Beryllium moderierter Reaktor
réacteur multizone	Mehrzonenreaktor
réacteur négatif	negativer Reaktor
réacteur nucléaire	Kernreaktor
réacteur piscine	Wasserbeckenreaktor
réacteur poreux	Porenreaktor
réacteur presque-régénérateur	Quasi-Brüter
réacteur prototype	Musterreaktor
réacteur rapid	schneller Reaktor
réacteur refroidi au sodium	natriumgekühlter Reaktor
réacteur régénérateur	Brüter
réacteur régénérateur à neutrons rapides	schneller Brüter
réacteur réglé	gesteuerter Reaktor
réacteur sans réflecteur	Reaktor ohne Reflektor
réacteur témoin	Bezugsreaktor
réacteur thermique	thermischer Reaktor
réacteur virtuel	Bildreaktor

réaction à neutrons rapides	Reaktion mit schnellen Neutronen
réaction auto-entretenue	sich selbst unterhaltende Reaktion
réaction chimique	chemische Reaktion
réaction contrôlable	steuerbare Reaktion
réaction de capture	Einfangprozeß
réaction de fission explosive	explosive Spaltreaktion
réaction de fusion	Kernverschmelzung
réaction de radicaux	Radikalreaktion
réaction de recombinaison	Rückreaktion
réaction d'échange	Austauschreaktion
réaction en avant	Vorwärtsreaktion
réaction en chaîne	Kettenreaktion
réaction en chaîne par neutrons lents	Kettenreaktion m. therm. Neutronen
réaction en chaîne par neutrons rapides	Kettenreaktion mit schnellen Neutronen
réaction inverse	Rückreaktion
réaction moléculaire	Molekularreaktion
réaction nucléaire induite	induzierte Kernreaktion
réaction nucléaire spontanée	spontane Kernreaktion
réaction thermonucléaire	thermonukleare Reaktion
réactivité	Reaktivität
réactivité en fonction de la température	Temperaturabhängigkeit der Reaktivität
réactivité froide	Kaltreaktivität
réactivité résiduelle	Abschaltreaktivität
récessif	rezessiv
recharge	Wiederbeladung, Brennstoffauswechslung
recherche	Forschung
recherche du réacteur optimum	Reaktor-Optimalisierung
recherche nucléaire	Kernforschung
récipient de dissolution	Auflösungsbehälter
récipient de sécurité	Sicherheitsbehälter
récipient d'expansion	Ausdehnungsgefäß

récipient en acier au carbone	Gefäß aus Kohlenstoffstahl
récipient pour irradiations	Bestrahlungsbehälter
récipient sous pression	Druckgefäß
recouvrement, voir revêtement	Mantel, Hülle
récréation	Erholung
recristallisation	Rekristallisierung
rectification	Rektifikation
recuire	glühen
recuit	Tempern, Anlassen
recul radioactif	radioaktiver Rückstoß
récupération	Erholung, Aufbereitung
récupération après déclenchement	Vorlauf
recyclage	Wiedereinsetzen
redresseur	Umformer, Gleichrichter
réduction calciothermique	Calciothermie
référentiel à centre de masse d'inertie	bezogen auf das Schwerpunktsystem
référentiel laboratoire	bezogen auf das Laborsystem
réflecteur	Reflektor
réflection bêta	Beta-Rückstreuung
reflux	Rückfluß, Rücklauf
reflux minimum	Mindestrücklaufverhältnis
réfraction d'un faisceau de neutrons	Beugung von Neutronenstrahlen
réfrigérant	Kühlmittel
refroidissement à reflux	Rückflußkühler
refroidissement par l'air	Luftkühlung
refroidissement par l'eau	Wasserkühlung
refroidissement par le bismuth fondu	Wismutkühlung
refroidissement par l'hélium	Heliumkühlung
refroidissement par métaux fondus	Metallkühlung
refroidisseur	Kühlmittel

régénérateur à neutrons rapides	schneller Brüter
régénérateur à neutrons thermiques	thermischer Brüter
régénération	Brüten, Aufbereitung
régénération des combustibles nucléaires	Brennstoffaufbereitung
régénération des neutrons	Neutronenregenerierung
régéneration du combustible	Brennstoffaufbereitung
régénération du TBP	TBP-Rückgewinnung
régénération par procédé au TBP	TBP-Metall-Rückgewinnungsprozeß
régime	Bereich, Meßbereich
régime de compteur	Zählbereich
régime de la source	Quellbereich
régime de la période	Periodenbereich
région de peu de radioactivité	kaltes Gebiet
régime de puissance	Leistungsbereich
région des résonances	Resonanzbereich
région interfaciale	inneres Grenzgebiet
région périphérique	äußeres Gebiet
région proportionnelle	Proportionalbereich
région sensible	Empfindlichkeitsbereich
réglage (automatique)	Regelung
réglage de phase	Einstellung, Synchronisation
réglage du flux neutronique	Neutronenflußregelung
réglage de puissance	Leistungsregelung
réglage grossier	Grobsteuerung
réglage par absorption de neutrons	Relegung durch Neutronenabsorption
réglage par configuration	Konfigurationsregelung
réglage par niveau du ralentisseur	Moderatorspiegel-Trimmung
règle d'analogie de la transmission de la chaleur	Ähnlichkeitsgesetz der Wärmeübertragung

règle de sélection	Auswahlregel
règle des isotopes	Isotopenregel
règle d'exception	Auswahlregel
régleur automatique	automatischer Regler
régulateur au cadmium	Kadmiumregelstab
régulateur automatique	automatischer Regler
reh (équivalent du roentgen pour l'homme)	rem (roentgen equivalent man)
relation de Breit et Wigner	Breit-Wigner-Formel
relation de de Broglie	de Broglie-Beziehung
relation de Geiger et Nuttall	Geiger-Nuttall-Gleichung
relation de Segrès	Segrès-Beziehung
relation d'Einstein	Einstein'sche Gleichung
relation d'orthogonalité	Orthogonalitätsrelation
relation énergie-portée	Energie-Reichweitebeziehung
relation masse-énergie	Masse-Energie-Beziehung
relation parcours-énergie	Reichweite-Energie-Beziehung
relativité	Relativität
relaxation	Relaxation
remise en circuit	Wiedereinsetzen
remise en traitement chimique	chemische (Kernbrennstoff)-Aufbereitung
rendement	Ausbeute
rendement asymptotique de fission	asymptotische Spalterwartung
rendement de fission	Spaltausbeute
rendement de neutrons par fission	Neutronenausbeute pro Spaltung
rendement d'ions	Ionenausbeute
rendement d'une réaction nucléaire	Ausbeute von Kernreaktionen
rendement en neutrons	Neutronenausbeute
rendement en paires d'ions	Ionenpaarausbeute
rendement en radiations	Strahlungsausbeute
rendement quantique	Quantenausbeute

rendement thermique	thermischer Wirkungsgrad
rendement total	Gesamtwirkungsgrad
renforcement par gaz	Gasverstärkung
répartition	Verteilung
répartition angulaire	Winkelverteilung
réponse	Ansprechvermögen
représentation	Darstellung
représentation matricielle	Matrixdarstellung
représentation schématique des termes	Termschema
reprise du traitement chimique	chemische Aufbereitung
répulsion nucléaire	Kernrückstoß
réseau	Gitter
réseau actif	Spaltzone
réseau à l'uranium métallique	Uranmetallgitter
réseau atomique	Atomgitter
réseau cristallin	Kristallgitter
réseau cubique	kubisches Gitter
réseau cubique à faces centrées	kubisch-flächenzentriertes Gitter
réseau cubique centré	kubisch-raumzentriertes Gitter
réseau de barres	Gitter (der Brennstoffstäbe)
réseau de diffraction	Beugungsgitter
réseau de grappes	Doppelgitter
réseau de points	Punkt-Gitter
réseau des éléments de combustible	Gitter der Brennstoffstäbe
réseau ionique	Ionengitter
réseau modérateur	Moderatorgitter
réseau moléculaire	Molekülgitter
réseau uranium-graphite	Uran-Graphit-Gitter
résidu	Abfall, Rückstand
résilience	Kerbschlagzähigkeit
résistance	Festigkeit
résistance à chaud	Warmfestigkeit
résistance à la corrosion	Korrosionswiderstand

résistance à la fatigue	Dauerfestigkeit
résistance à la flexion	Biegefestigkeit
résistance à la traction	Zugfestigkeit
résistance à l'action des radiations	Strahlungswiderstand
résistance à l'impact	Stoßfestigkeit
résistance au choc	Stoßfestigkeit
résistance au fluage	Dauerstandfestigkeit
résistance au frottement	Reibungswiderstand
résistance aux efforts prolongés	Zeitstandfestigkeit
résistance de flexion au choc	Schlagbiegefestigkeit
résistance électrique	elektrischer Widerstand
résistance radioactive	radioaktiver Widerstand
résonance	Resonanz
résonance magnétique de spin	magn. Spin-Resonanz
résonance magnétique nucléaire	magn. Kernresonanz
résonance statistique	statistische Resonanz
resorption	Resorption
retard	Verzögerung
retard au déclenchement	Abschaltverzögerung
retassure	Lunker
rétention	Retention
rétention initiale par le corps	Trägheit
retenue	Retention
retombée radioactive	radioaktiver Niederschlag
rétroaction	Rückführung
rétrodiffusion	Rückstreuung
revenu	Tempern, Erholung
revêtement	Umhüllung
rhénium	Rhenium
rhéostat	Widerstand
rhodium	Rhodium
rhombique	rhombisch
rigidité magnétique	magn. Steifigkeit
Roentgen-gramme	Gramm-Roentgen
rotothérapie	Rotationstherapie

rubidium	Rubidium
rupture de gaine	Hülsenschaden
ruthénium	Ruthenium

S

sable de monazite	Monazitsand
samarium	Samarium
sans entraîneur, sans porteur	trägerfrei
sarcome	Sarkom
saturation	Sättigung
saut à-coup de réactivité	prompter Reaktivitäts-Anstieg
saut de réactivité	Reaktivitätssprung
saut quantique	Quantensprung
scandium	Scandium
scavenger	Radikalfänger
scellé	vakuumdicht
scellement	Dichtungsmittel
scheelite	Scheelit
schéma de cristallisation	Kristallisationsschema
schéma développé	Fließbild
schéma en auctien	Auktionsschaltung
schlamm (d'uranium dans l'eau)	Schlamm (Suspensionsreaktor)
scintillateur	Szintillator
scintillateur plastique	Kunststoffszintillator, Plastikszintillator
scintillation	Szintillation
scission	Spaltung
sécrétion	Ausscheidung
section d'activation	Aktivierungsquerschnitt
section de choc	Stoßquerschnitt
section de rectification	Rektifikationsabschnitt
section d'extraction	Extraktionsabschnitt, Abstreifer
section efficace	Wirkungsquerschnitt
section efficace d'absorption	Absorptionsquerschnitt

section efficace d'activation	Aktivierungsquerschnitt
section efficace d'arrêt	Bremsquerschnitt
section efficace d'arrêt équivalente	äquivalenter Bremsquerschnitt
section efficace de capture	Einfangquerschnitt
section efficace de choc	Stoßquerschnitt
section efficace de diffusion	Streuquerschnitt
section efficace de diffusion élastique	elastischer Streuquerschnitt
section efficace de diffusion inélastique	unelastischer Streuquerschnitt
section efficace de fission	Spaltquerschnitt
section efficace de résonance	Resonanzquerschnitt
section efficace de transport	Transportquerschnitt
section efficace différentielle	differentieller Wirkungsquerschnitt
section efficace d'un noyau	Kernquerschnitt
section efficace macroscopique	makroskopischer Wirkungsquerschnitt
section efficace microscopique	mikroskopischer Wirkungsquerschnitt
section efficace résiduelle	Ausscheidquerschnitt
section efficace totale	totaler Wirkungsquerschnitt
sécurité de flux minimum	Sicherung bei kleinem Fluß, Quellverriegelung
sécurité de puissance	Leistungswächter
sécurité de refroidissement	Notkühlung
sécurité de source	Quellenverriegelung
sécurité du réacteur	Reaktorsicherheit
ségrégation	Seigerung, Kornseigerung, Entmischung
ségrégation par gravité	Sedimentation
sel d'uranium	Uransalz

sel fondu	geschmolzenes Salz
sélecteur de la hauteur (de l'amplitude) d'impulsions	Impulshöhenanalysator
sélecteur de vitesses, sélecteur stroboscopique périodique, s. str. rotatoire	Geschwindigkeitsselektor, Zerhacker, Chopper
sélénium	Selen
semence	Saatelemente
semi-conducteur	Halbleiter
sensibilité	Ansprechvermögen, Ansprechwahrscheinlichkeit, Empfindlichkeit
sensibilité DIN	DIN-Empfindlichkeit
séparateur à étage unique	einstufige Trennanlage
séparateur de vapeur	Dampfabscheider
séparateur d'isotopes	Isotopentrennanlage
séparateur „isotron"	Isotron
séparation chimique	chemische Trennung
séparation des masses	Massentrennung
séparation des produits de fission	Abtrennung der Spaltprodukte, Spaltproduktausschlackung
séparation d'isotopes	Isotopentrennung
séparation électrolytique	elektrolytische Abscheidung
séparation granulométrique	Sichten
séparation électromagnétique	elektromagnetische Abscheidung
séparation électrostatique	elektrostatische Abscheidung
séparation par congélation	Ausfrierverfahren
séparation par gravité	Trennung durch Sedimentation
séparation photochimique des isotopes	photochemische Trennung von Isotopen
séparer	trennen
série	Reihe, Serie

série de désintégration	Zerfallsreihe
série de l'actinium	Aktinium-Reihe
série de l'uranium	Uranreihe
série du neptunium	Neptunium-Reihe
série du thorium	Thorium-Reihe
série radioactive	radioaktive Zerfallsreihe
série spectrale	Spektralserie
série uranium-radium	Uran-Radium-Reihe
servomécanisme	Servo-Mechanismus
servo-moteur	Hilfsmotor, Servomotor
seuil de fission	Spaltbarkeitsgrenze
seuil d'énergie cinétique	Schwellenenergie
signal d'alarme	Sicherheitssignal
signal d'alerte	Sicherheitssignal
signal de sortie	Regelgröße
silicium	Silizium
simulateur	Simulator
simulateur de pile	Reaktorsimulator
singulet	Singulett
skiagramme	Radiogramm
sodium	Natrium
sodium refroidisseur	Natrium-Kühlung
solidus	Soliduslinie
solubilité	Löslichkeit
solution	Lösung
solution brute	Speiselösung
solution de Grad	Grad'sche Lösung
solution de lavage	Waschlösung
solution d'Enskog	Enskogsche Lösung
solution du combustible	Brennstofflösung
solution électrolytique	Elektrolyt
solution primaire	Speiselösung, Primärlösung
solution solide	Mischkristall, feste Lösung
solution solide interstitielle	Einlagerungsmischkristall
solution solide de substitution	Substitutionsmischkristall
solvant d'extraction	Extraktionsmittel
sondage d'essai	Experimentierkanal

sorbonne	Abzug
souder	Weichlöten
soudure	Löten, Schweißen
soudure à froid	Kaltschweißung
soufflante	Gebläse
soufflure	Blase, Gußblase
soufre	Schwefel
soumission du combustible à un nouveau traitement	Brennstoffaufbereitung
soupape de contrôle	Regelventil
soupape d'excès	Überschußventil, Sicherheitsventil
source auxiliaire de courant de réserve	Notstromversorgung
source bêta	Betastrahlquelle
source de chaleur	Wärmequelle
source de disque	scheibenförmige Quelle
source de neutrons	Neutronenquelle
source de Lambert	Cosinusquelle
source de tritium	Tritiumquelle
source d'énergie	Energiequelle
source d'ions	Ionenquelle
source extérieure	äußere Quelle, Neutronenquelle im Reaktor
source image	Bildquelle
source non-scellée	offenes (radioaktives) Präparat
source plane infinie	unendlich ausgedehnte ebene Quelle
source ponctuelle	Punktquelle
source radium-béryllium	Radium-Beryllium-Quelle
source scellée	geschlossenes (radioaktives) Präparat
source superficielle isotrope	isotrope Oberflächenquelle
source virtuelle	Bildquelle
sous-critique	unterkritisch
sous-produit radioactif	radioaktives Nebenprodukt

soute de décontamination	Lager radioaktiver Materialien, Tunnel
spallation	Kernexplosion
spectre	Spektrum
spectre bêta	Beta-Spektrum
spectre cannelé	Bandenspektrum
spectre continu	kontinuierliches Spektrum
spectre de bandes	Bandenspektrum
spectre de fission	Spaltspektrum
spectre de lignes	Linienspektrum
spectre de masse	Massenspektrum
spectre de molécule	Molekülspektrum
spectre de raies	Linienspektrum
spectre de rayons alpha	Alpha-Spektrum
spectre de rayons bêta	Beta-Spektrum
spectre de rayons X	Röntgenspektrum
spectre d'émission	Emissionspektrum
spectre des neutrons	Neutronenspektrum
spectre des neutrons perdus	Ausflußspektrum
spectre des valeurs propres	Eigenwertspektrum
spectre du noyau	Kernspektrum
spectre du rayonnement de freinage	Bremsspektrum
spectre du rayonnement gamma	Gammastrahlspektrum
spectre énergétique	Energiespektrum
spectre gamma	Gammaspektrum
spectre optique	optisches Spektrum
spectrographe à impulsions	Impulsspektrograph
spectrographe à rayons X	Röntgenspektrograph
spectrographe de masse	Massenspektrograph
spectromètre	Spektrometer
spectromètre à rayons α	Alphastrahl-Spektrometer
spectromètre à rayons bêta	Betastrahl-Spektrometer
spectromètre à rayons gamma	Gammastrahl-Spektrometer

spectromètre à scintillation	Szintillationsspektrometer
spectromètre aux paires (d'électrons)	Paarspektrometer
spectromètre de masse	Massenspektrometer
spectromètrie neutronique	Neutronenspektrometrie
spectrophotomètre	Spektralphotometer
spectroscopie à neutrons	Neutronenspektroskopie
spectroscopie à rayons X	Röntgenspektroskopie
spectroscopie gamma	Gammaspektroskopie
spin	Spin, Drall
spin de l'électron	Elektronenspin
spin du noyau	Kernspin
spin isobarique	isotoper Spin
spin isotopique	isotoper Spin
spin nucléaire	Kernspin
spinor	Spinor
spontané	spontan
stabilisation par température	Temperaturstabilisierung
stabilité	Stabilität
stabilité inhérente	inhärente Stabilität
stabilité nucléaire	Kernstabilität
stabilité sous irradiation, st. s. rayonnement	Strahlungsstabilität
stabilité thermique	thermische Stabilität
station nucléaire	Reaktoranlage
statique du réacteur	Reaktorstatik
statistique	Statistik
statistique quantique	Quantenstatistik
stérilisation	Sterilisierung
stérilisation par irradiation	Strahlungssterilisierung
stérilité	Sterilität
stimulation	Stimulation
stockage des déchets	Abfall-Lagerung
striction	Einschnürung
strontium	Strontium
structure atomique	Atombau
structure cristalline	Kristallstruktur
structure de graphite	Graphitstruktur

structure de Widmanstätten	Widmanstätten'sches Gefüge
structure du noyau	Kernbau
structure du réseau	Gitteranordnung
structure fine	Feinstruktur
structure hexagonale compacte	hexagonal-dichteste Packung
structure hyperfine	Hyperfeinstruktur
structure nucléaire	Kernstruktur
structure nucléaire de type alpha	Alpha-Teilchen-Modell des Kerns
structure quantique du noyau	Schalenstruktur
structure réticulaire	Gitteranordnung
structure type diamant	Diamantstruktur
sublimation	Sublimation
substance absorbante	Absorber, absorbierendes Medium
substance condensée	Kondensat
substance de décontamination	Entseuchungsmittel, Dekontaminationsmittel
substance fertile	Brutstoff
substance modératrice	Bremsmittel
substance modératrice hydrogénée	wasserstoffhaltiges Bremsmittel
substance radioactive concentrée, s. r. pure	trägerfrei
sulfate d'uranyle	Uranylsulfat
sulfure d'antimoine	Antimonsulfid
sulfure d'arsenic	Arsensulfid
sulfure de cuivre	Kupfersulfid (Cu_2S)
sulfure de zinc	Zinksulfid
supercritique	überkritisch
surchauffage	Überhitzung, Temperaturüberschlag
surchauffe (surchauffage) d'un canal	Kanalüberhitzung
surchauffeur	Überhitzer
surcritique	überkritisch
surrégéneration	Brüten
surveillage de la circuit	Kreislaufüberwachung

surveillage de la période	Periodenüberwachung
surveillance	Überwachung (polizeilich)
surveillance de l'eau	Wasserüberwachung
surveillance du personnel	Personenüberwachung
symétrie axiale	axiale Symmetrie
synchrocyclotron	Synchrozyklotron
synchromètre de masse	Massensynchrometer
synchroton	Synchroton
syndrome	Syndrom
syndrome d'irradiation	Bestrahlungs-Syndrom
syndrome purpurique	hämorrhagische Diathese
synthèse avec molécules marquées	Markierungssynthese
synthèse nucléaire	Kernaufbau
système à code de fréquences	Frequenzkodesystem
système à deux phases	Zweiphasensystem
système d'axes de référence à centre de masse	Schwerpunktsystem
système de chargement	Beschickungssystem
système de contrôle	Steuer- und Regeleinrichtung
système de coordonnées	Bezugssystem, Koordinatensystem
système de déclenchement	Triggermechanismus
système de référence au laboratoire	Laborsystem, Beobachtersystem
système de refroidissement	Kühlanlage
système de réglage automatique	automatisches Regelsystem
système de repérage	Koordinatensystem
système numérique de comptage	Zählwerk
système référentiel	Bezugssystem
système réticulo-endothélial	retikuloendotheliales System (RES)

T

tableau de signalisation	Signaltafel
tablier de plomb	Bleischürze
taille critique	kritischer Grenzwert
tamisage	Sieben
tantale	Tantal
tassement	Packungseffekt
taux cadmique	Kadmiumverhältnis
taux d'absorption différentiel	differentielles Absorptionsverhältnis
taux de branchement	Verzweigungsverhältnis
taux de combustion	Abbrand
taux de comptage	Zählrate
taux de consommation	Abbrand
taux de conversion	Konversionsgrad
taux de désintégration	Zerfallsrate
taux de dose	Dosisleistung
taux de production des neutrons	Neutronenquellstärke
taux de reflux	Rückflußverhältnis
taux de régénération	Konversionsgrad
technétium	Technetium
technique chimique	chemische Technik
technique de la haute tension	Hochspannungstechnik
technique des isotopes	Isotopentechnik
technique des procédés	Verfahrenstechnik
technique des procédés nucléaire	Kernverfahrenstechnik
technique des rayons durs	Hartstrahltechnik
technologie chimique	chemische Technologie
technologie des piles	Reaktor-Technologie
télécommande à distance	Fernbedienung
télé-radiographie	Fernaufnahme
télescope à tube compteur	Zählrohrteleskop
tellure	Tellur
température	Temperatur
température de fonctionnement	Betriebstemperatur
température de mise en solution	Lösungstemperatur, Liquidustemperatur

température de transition	Übergangstemperatur
température d'opération	Betriebstemperatur
température du liquidus	Liquidustemperatur
température limite	Grenztemperatur
température moyenne	mittlere Temperatur
temps de coupure	Abschaltzeit
temps de déclenchement	Abschaltzeit
temps de décontamination	Abklingzeit
temps de démarrage	Startzeit
temps de demi-destruction	effektive Halbwertszeit
temps de désintégration	Zerfallszeit
temps de diffusion	Diffusionszeit
temps de doublement	Verdopplungszeit
temps de génération	Generationsdauer
temps de latence	Latenzzeit
temps de montée	Anstiegszeit
temps de ralentissement	Bremszeit
temps de récupération	Vorlaufzeit
temps de relaxation	Relaxationszeit
temps de réponse en température	Temperaturverzögerung
temps de résolution	Auflösungszeit
temps d'écrêtage	Ansprechzeit
temps létal moyen	mittlere tödliche Zeitdauer
temps mort	Totzeit
temps mortel moyen	mittlere tödliche Zeit
teneur en uranium	Urangehalt
teneur isotopique	Isotopenhäufigkeit
teneur relative	relative Häufigkeit
tension accélératrice	Beschleunigungsspannung
tension de saturation	Sättigungsspannung
tension de vapeur	Dampfdruck
tension d'excitation	Anregungsspannung
tension d'ionisation	Ionisierungsspannung
tension interne	Eigenspannung
tension minima du palier	Einsatzspannung
tension superficielle	Oberflächenspannung
tension thermique	Wärmespannung

terbium	Terbium
terme	Term
terme fondamental	Grundzustand
terme isotopique	Isotopenzusammensetzung
terphenyle	Terphenyl
terres rares	seltene Erden
test au bleu d'éthylène	Äthylenblau-Test
tétraéthylène-glycol	Tetraäthylenglycol
tetragonal	tetragonal
tétroxyde de ruthénium	Rutheniumtetroxyd
texture	Textur
thallium	Thallium
théorème de composition	Faltungssatz
théorème de conservation	Erhaltungssatz
théorème de l'énergie	Energiesatz
théorème de Liouville	Liouvillescher Satz
théorie à plusieurs groupes	Mehrgruppentheorie
théorie cinétique de gaz	kinetische Gastheorie
théorie de Bohr	Bohr'sche Theorie
théorie de diffusion	Diffusionstheorie
théorie de Fermi	Fermi-Theorie
théorie de Gamow	Gamow-Theorie
théorie de la cible	Treffertheorie
théorie de la particule unique	Einteilchenmodell
théorie de Yukawa du champ nucléaire	Yukawasche Theorie des Kernfeldes
théorie des chocs efficaces	Treffertheorie
théorie des perturbations	Störungstheorie, Störungsrechnung
théorie des potentiels	Potentialtheorie
théorie des réacteurs	Reaktortheorie
théorie du ralentissement continu	Theorie der kontinuierlichen Bremsung, Alterstheorie
théorie du réglage	Regelungstheorie
théorie du réseau	Gittertheorie
théorie du transport	Transporttheorie

théorie macroscopique du réacteur	makroskopische Reaktortheorie
théorie mésonique des forces intranucléaires	Mesonentheorie der Kernkräfte
théorie monogroupe	Eingruppentheorie
théorie polygroupe	Mehrgruppentheorie
thermique	thermisch
thermistor	Thermistor
thermochimie	Thermochemie
thermodiffusion	Thermodiffusion
thermofusion	thermische Verschmelzung
thermonucléaire	thermonuklear
thorianite	Thorianit
thorides	Thoride
thorite	Thorit
thorium	Thorium
thoron	Thoron
thulium	Thulium
tige	Stab
titane	Titan
tombac	Tombak
touffe	Anhäufung, Haufen
tour de condensation	Kondensationsturm
tour de fractionnement	Fraktionierkolonne
tour de réfrigération	Kühlturm
tourteau de filtrage	Filterkuchen, Filterrückstand
trace	Spur
trace ionique	Ionenspur
traces dans l'émulsion photosensible	Photoschichtspuren
traceur isotopique	Indikator
traceur radioactif	radioaktiver Indikator
traitement	Behandlung, Aufbereitung
traitement à haute température	Hochtemperaturbehandlung
traitement chimique	chemische Aufbereitung
traitement des déchets	Abfallbehandlung
traitement du combustible	Kernbrennstoffaufbereitung

traitement thermique	Wärmebehandlung
trajectoire	Bahnspur
trajectoire de Bohr	Bohr'sche Bahn
trajectoire de l'électron	Elektronenbahn
trajectoire ionique	Ionenspur
transducteur magnétique	Magnetverstärker
transfert de chaleur	Wärmeübergang, Wärmeübertragung
transfert de charge	Ladungsübergang
transfert d'électron(s)	Elektronenübergang
transfert d'énergie	Energieübertragung
transformation	Transformation, Umwandlung
transformation de Fourier	Fourier-Transformation
transformation de la géométrie	Geometrie-Transformation
transformation de Laplace	Laplace-Transformation
transformation de mésons	Mesonenumwandlung
transformation des phases	Phasenumwandlung
transformation interne	innere Umwandlung
transformation nucléaire artificielle	künstliche Kernumwandlung
transformation nucléaire spontanée	spontane Kernumwandlung
transformation provoquée	induzierte Kernumwandlung
transformation sans rayonnement	strahlungsloser Übergang
transformation thermonucléaire	Kernverschmelzung
transition	Übergang
transition de phase	Phasenumwandlung
transition interdite	verbotener Übergang
transition isomérique	isomerer Übergang
transition nucléaire	Kernumwandlung
transition permise	erlaubter Übergang
translocation	Translokation
translocation chromosomique	Chromosomentranslokation

translocation de chromosome	Chromosomentranslokation
transmission de chaleur	Wärmeübertragung
transmission des caractères sexuels	Übertragung der Geschlechtsmerkmale
transmutation	Kernprozeß, -Aufbau
transmutation artificielle des éléments	künstliche Kernumwandlung
transmutation d'éléments	Elementumwandlung
transmutation des espèces nucléaires	Kernumwandlung
transport d'isotope	Isotopentransport
transuranien	transuranisch
traumatisme	Trauma
travail	Arbeit
travail de séparation	Trennaufwand
trempe par déformation	abschrecken
triage	Sichten
tributylphosphate	Tributylphosphat
triclinique	triklin
trier	klassieren
trieur à air	Windsichter
trifluorure de bore	Bortrifluorid
triplet	Triplett
tritium	Tritium
triton	Triton
trou de faisceau	Strahlenkanal
troubles dûs aux radiations	Strahlenkrankheit
tube	Rohr, Röhre
tube à anticathode tournante	Drehanodenröhre
tube à double-foyer, t. à double focalisation	Doppelfokusröhre
tube à électromètre	Elektrometerröhre
tube à vide	Vakuumröhre
tube compteur	Zählrohr
tube compteur à bore	Borzählrohr
tube compteur à cloche	Glockenzählrohr
tube compteur à fenêtre mince	Fensterzählrohr
tube compteur à points	Spitzenzähler

tube compteur d'alpha	α-Zählrohr
tube compteur de bêta	β-Zählrohr
tube compteur de gamma	γ-Zählrohr
tube compteur de Geiger-Müller	Geiger-Müller-Zählrohr
tube compteur proportionnel	Proportionalzählrohr
tube convergent	Fokusröhre
tube d'accélération	Beschleunigungsrohr
tube de chaleur	Heizrohr
tube de comptage au bore	Borzählrohr
tube de concentration	fokussierende Röhre
tube de Geiger	Geiger'sches Zählrohr
tube de spectrographe	Spektrographenröhre
tube multiplicateur d'électrons	Elektronenvervielfacher
tube photomultiplicateur	Photovervielfacher
tumeur	Tumor
tungstène	Wolfram
turbogénérateur	Turbogenerator
types des réactions nucléaires	Kernreaktions-Typen

U

UCC (unité de chaleur centésimale)	CHU *(centigrade heat unit)*
ultra-centrifugeuse	Ultrazentrifuge
u.m.a. (unité de masse atomique)	ME (Abk. f. atomphysikalischeMasseneinheit)
unidimensionnel	eindimensional
unité atomique	atomare Einheit
unité de diffusion à étage unique	einstufige Diffusionstrennanlage
unité de masse atomique	(atomare) Masseneinheit
unité de poids atomique	Einheit des Atomgewichtes
unité de volume	Volumeneinheit
unité d'irradiation	Bestrahlungseinheit

unité Mache	Mache-Einheit
unité millimasse	TME (tausendstel Masseneinheit, auch mME)
unité n	n-Einheit
unité Röntgen	Röntgen-Einheit (r)
unité X	X-Einheit
uranate de sodium	Natriumuranat
uranides	Uranide
uranite	Uranit
uranium	Uran
uranium alpha	Alpha-Uran
uranium bêta	Beta-Uran
uranium enrichi	angereichertes Uran
uranium gamma	Gamma-Uran
uranium métallique	Uranmetall, metallisches Uran
uranium non enrichi	natürliches Uran
usine chimique	chemische Fabrik
usine de décontamination	Entgiftungsanstalt
usine de production	Fabrikationsanlage
usine de raffinage	Raffinerie
usine de séparation isotopique	Isotopentrennanlage
usine d'extraction	Extraktionsanlage
usine métallurgique	metallurgische Fabrik
usine pilote	Versuchsanlage
utilisation à grande échelle	Großverbrauch, Massenverbrauch
utilisation thermique	thermische Nutzung

V

vacuum	Vakuum
valence	Wertigkeit, Valenz
valeur	Wert
valeur au seuil	Schwellwert
valeur de déclenchement	Abschaltleistung bzw. Abschaltpegel
valeur (de) g	G-Wert
valeur de pré-réglage	Sollwert

valeur limite	Grenzwert
valeur propre	Eigenwert
vanadium	Vanadium
vanne	Leitungsventil
vanne du condenseur-tampon	Überschußventil
vapeur	Dampf
vapeur radioactive	radioaktiver Dampf
vapeur saturée	Sattdampf
vapeur sursaturée	Naßdampf
variabilité	Variabilität
variabilité biologique	biologische Variabilität
variable fortuite	Zufallsvariable
variation brusque de réactivité	Reaktivitätssprung
variation de charge	Lastschwankung
variation de réactivité en longue période	Langzeitverhalten der Reaktivität
variation des facteurs de référence	Eichfaktoränderungen
vecteur buckling	Flußwölbungsvektor
velocité thermique	thermische Geschwindigkeit
ventilateur	Gebläse, Ventilator
vernis amovible, v. grattable, v. momentané, v. protecteur	Abziehlack
verre au plomb	Bleiglas
verrouillage	Verriegelung, Verblockung
verrouillage de la source de neutrons	Quellenverriegelung
vibreur	Zerhacker, Chopper
vide	Vakuum
vide élevé	Hochvakuum
vie	Zerfallszeit
vie du combustible	Brennstofflebensdauer
vie moyenne	mittlere Lebensdauer
vie moyenne du neutron	Neutronenlebensdauer
vie moyenne généralisée	verallgemeinerte Lebensdauer
vieillissement	Altern

virus	Virus
viscosité	Viskosität, Zähigkeit
vitesse	Geschwindigkeit
vitesse de décharge	Entladungsgeschwindigkeit
vitesse de désintégration radioactive	radioaktive Zerfallsrate, Zerfallsgeschwindigkeit
vitesse de diffusion	Diffusionsgeschwindigkeit
vitesse de réaction	Reaktionsgeschwindigkeit
vitesse de réglage de la réactivité	Trimmgeschwindigkeit
vitesse des neutrons	Neutronengeschwindigkeit
vitesse limite de fluage	Kriechgeschwindigkeitsgrenze
vitesse relativiste	relativistische Geschwindigkeit
vitesse thermique	thermische Geschwindigkeit
volatilité	Flüchtigkeit
voltage accélérateur	Beschleunigungsspannung
voltmètre électrostatique à corde	Fadenelektrometer
volume atomique	Atomvolumen
volume critique	kritisches Volumen
volume molaire	Molvolumen
volume sensible	(strahlen-) empfindliches Volumen

X

xénon	Xenon

Y

ytterbium	Ytterbium
yttrium	Yttrium

Z

zeunérite	Zeunerit
zinc	Zink
zircone	Zirkonoxyd
zirconium	Zirkon
zone de protection	Schutzzone
zone surveillée	Überwachungsbereich
zygote	Zygote

HÖCKER
WEIMER

LEXIKON
DER KERN- UND
REAKTOR-
TECHNIK

BAND II L–Z

FRANCKH